

TARTU ÜLIKOOL
ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT
ZOOLOOGIA OSAKOND
HÜDROBIOLOOGIA ÕPPETOOL

Siim Pärt

KASSARI LAHE LAHTISE
PUNAVETIKAKOOSLUSE RUUMILINE
MUUTLIKKUS

Magistritöö

Juhendajad: PhD Tiina Paalme

MSc Priit Kersen

TARTU 2013

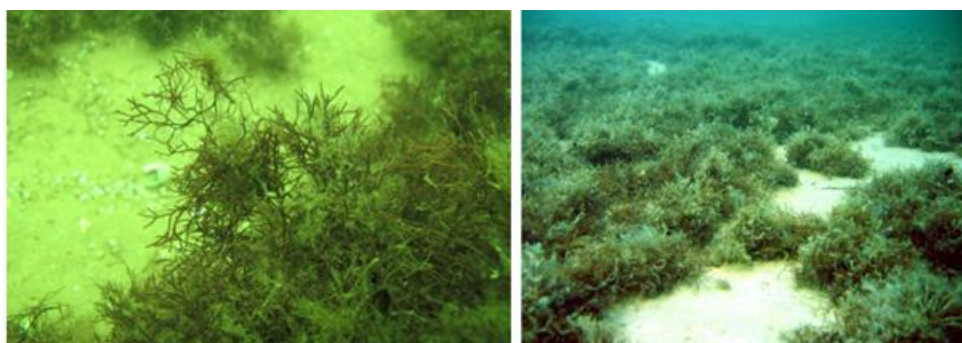
SISUKORD

1. SISSEJUHATUS	3
2. KASSARI LAHE LAHTINE PUNAVETIKAKOOSLUS.....	6
2.1 Agarik - <i>Furcellaria lumbricalis</i>	6
2.2 Epibiondid	7
2.3 Kassari lahe lahtist punavetikakooslust mõjutavad keskkonnategurid.....	7
2.3.1 Lokaalsete ja regionaalsete abiootiliste keskkonnategurite mõju punavetikakoosluse dünaamikale	8
2.3.2 Bioloogiliste tegurite tähtsus Kassari lahe lahtise punavetikakoosluse ning selles domineerivate liikide <i>F. lumbricalis</i> ja <i>C. truncatus</i> kasvu regulatsioonis	10
2.3.3 Kassari lahe punavetikakooslusega assotseerunud vetikad ja selgrootud	11
3. MATERJAL JA METOODIKA	12
3.1 Uurimisala	12
3.1.1 Proovipunktid.....	13
3.2 Proovide kogumine ja töötlemine.....	13
3.3 Andmeanalüüs	14
4. TULEMUSED	17
4.1 Liigiline koosseis.....	17
4.2 Taimsed epifüüdid ja kooslusega assotsieerunud vetikad	19
4.3 Loomsed epifüüdid ja kooslusega assotsieerunud selgrootud	23
4.4 Sise- ja äärealad.....	27
5. ARUTELU.....	30
KOKKUVÕTE	33
SUMMARY	34
TÄNUAVALDUSED	35
KASUTATUD KIRJANDUS	35

1. SISSEJUHATUS

Kassari lahes asub Euroopa meredes unikaalne ning omapärane lahtine makrovetikakooslus, mis moodustub peamiselt kahe punavetikaliigi - *Furcellaria lumbricalis* (Hudson) J. V. Lamouroux ja *Coccotylus truncatus* (Pallas) M.J. Wynne & J.N. Heine kinnitumata vormidest (Trei 1978; Martin 2000; Paalme *et al.* 2011). Lahtine vetikakooslus on ka sekundaarseks substraadiks mitmetele, muidu kividele ning teistele kõvadele pindadele kinnituvatele selgrootute- (Kotta & Orav 2001; Orav-Kotta & Kotta 2004; Lauringson & Kotta 2006) ja vetikaliikidele (Trei 1978).

Kooslusel on väga eripärane väljanägemine. Omavahel läbipõimunud vetikatallused moodustavad merepõhjale lahtise 5-15 cm paksuse vetikakihi (joonis 1). Kihil puudub suure mobiilsuse tõttu ülemine ja alumine pool. Sellise koosluse katvus on keskmiselt 60 - 70 % (Trei 1978, Martin 2006b; Paalme *et al.* 2011) ning kokku katab punavetikakooslus üle 200 km², kaaludes märgkaalus rohkem kui 200 000 tonni (Paalme *et al.* 2011).



Joonis 1. Kinnitumata punavetikakooslus Väinameres Kassari lahes (Foto I. Kuprijanov ja G. Martin)

Punavetikas *F. lumbricalis* ehk agarik on Läänemeres ainsaks töenduslikult kasutatavaks vetikaliigiks, olles väärtuslikuks tooraineks geelistuvate polüsahhariidide tootmisel, mida kasutatakse tänapäeval laialdaselt eelkõige toiduainete, kosmeetika ja farmaatsiatööstuses (Paalme 2011). Kassari lahes alustati agariku väljapüüki töenduslikul eesmärgil 1966. aastal ja sellest ajast alates on pidevalt jälgitud punavetikakoosluse ökoloogilist seisundit (Kersen *et al.* 2009; Paalme *et al.* 2011). Regulaarse seire käigus, mis toimub reeglina koosluses domineerivate punavetikate vegetatsiooniperioodi lõpp-etapil (juulis-augustis), hinnatakse mitmeid punavetikakooslust iseloomustavaid parameetreid: biomass, katvus, agariku suhteline osakaal koosluses võrreldes *C. truncatus* ja teiste makrovetika ja -zoobentose liikidega (Paalme *et al.* 2011).

Tõenäoliselt aitavad Kassari lahte ümbritsevad saared ja laiud ning nende vahel esinev ringhoovus lahe kinnitumata punavetikakooslust säilitada ning kaitsevad lahtiseid vetikaid väljauhtumise eest (Trei 1973; Martin 2000). Lained ning hoovused muudavad sellised makrovetikakooslused väga mobiilseks. Seetõttu võivad nende levikuala, liigiline koosseis ning katvus aastati tunduvalt erineda (Trei 1975).

Lahtine agarikukooslus esines varem ka Poola rannikumeres, kuid kadus sealt 1980ndatel suurenenud eutrofeerumise tagajärjel (koosluses hakkasid vahama *Pilayella littoralis*, *Ectocarpus silicosus* ning *Zanichellia palustris*) (Kruk-Dowgiałło 1991; Kruk-Dowgiałło & Szaniawska 2008). Ülepüük 1950-1970ndatel aastatel aga mõjus hävitavalt sarnasele kooslusele Taanis Kattegati väinas (Pedersen & Snoeijs 2001).

Kuigi lahtised vetikakooslused on üle maailma üsnagi levinud ja neid moodustavaid liike on teada üle 230-ne on suurema osa puhul tegemist algselt kinnitunud vetikatega (substraadilt eraldunud talluse või nende elutsükli kinnitumata järguga)(Norton & Mahieson 1983). Kassari lahtises agarikukoosluses domineeriv *F. lumbricalis* erineb morfoloogiliselt sama liigi kinnitunud vormist (joonis 2) ning on tõenäoliselt mõjutatud ka teistest keskkonnaparameetritest (Kersen *et al.* 2009). Permanentselt kinnitumata *F. lumbricalis* ja *C. truncatus* vormid on seetõttu unikaalsed ning väheuuritud (Austin 1960; Cecere *et al.* 2007; Kruk-Dowgiałło & Szaniawska 2008).



Joonis 2. Kinnitunud *F. lumbricalis* (Foto T. Hunt)

Erinevate rakenduslike- ja teadusprojektide raames on uuritud Kassari lahe punavetikakoosluse põhiliikide bioproduksiooni, juurdekasvu kiirust ning erinevate keskkonna- ja kliimategurite mõju koosluse seisundile (Martin *et al.* 2006ab; Kotta *et al.* 2008; Paalme *et al.* 2011, 2013). Need uuringud on keskendunud aga peamiselt agarikukoosluse põhiliikidele (*F. lumbricalis* ja *C. truncatus*) ja võib öelda, et puuduvad täpsed andmed punavetikakooslusega assotsieerunud vetika- ning loomaliikidest. Viimased põhjalikumad uuringud Kassari lahe punavetikakoosluse liigilise koosseisu kohta viidi läbi T. Trei poolt 1970ndatel aastatel (Trei 1978).

Käesoleva töö eesmärgiks on kirjeldada Kassari lahe punavetikakoosluses domineerivate liikide, *F. lumbricalis* ja *C. truncatus*, epifüütide ja kooslusega assotsieerunud selgrootute liigilist koosseisu, analüüsida nende ruumilist levikut ning koosluse struktuuri mõjutavaid keskkonnategureid. Lisaks hinnata kiiresti kasvavate niitjate vetikate osakaalu punavetikakoosluses ja nende potentsiaalset mõju koosluse seisundile.

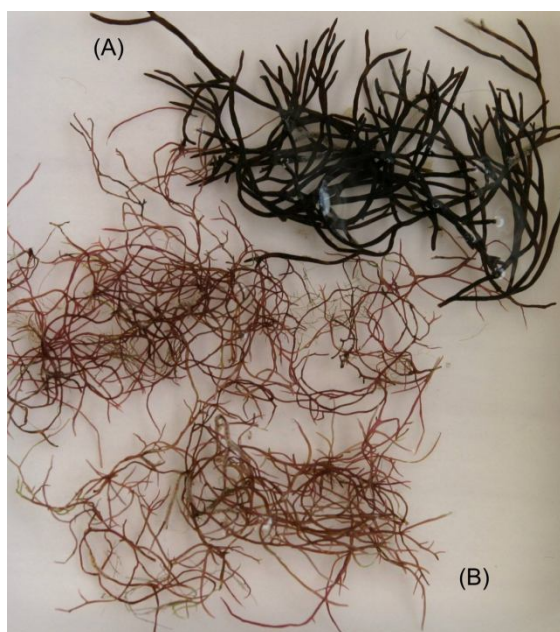
Peamisteks tööhüpoteesideks olid:

1. Domineerivate epifüütide ja assotsieerunud liikide biomass ei ole jaotunud koosluse ulatuses ühtlaselt.
2. Äärealad erinevad koosluse struktuuri poolest sisealadest.
3. Taimsete epifüütide liigiline koosseis ja biomass sõltub valgustingimustest kasvukohas.
4. Selgrootute loomade liigiline koosseis ja biomass sõltub domineerivate punavetikate osakaalust koosluses.

2. KASSARI LAHE LAHTINE PUNAVETIKAKOOSLUS

2.1 Agarik - *Furcellaria lumbricalis*

Läänemeres on teada kaks agariku morfoloogilist ökotüüpi - tavalisem, kinnitunud vorm *Furcellaria lumbricalis* (Hudson) J.V. Lamouroux (joonis 1) ning lahtine, põhja kohal lebav vorm *Furcellaria lumbricalis* f. *aegagropila* Reinke (joonis 3a). Kinnitunud vorm eelistab kasvada sügaval ja lainetusele avatud mereelupaikades. Agariku lahtine vorm on levinud samuti sügaval, kuid seal, kus merepõhi on lauge ja domineerivad pehmed setted. Sellistes elupaikades on valgustingimused põhjasetete resuspensiooni tõttu suhteliselt halvad. Mõlema vormi biomassi väärtused ulatusid Eesti merealal ligi 500 g/m² kuivkaalus. Põhjale kinnitunud agarik on levinud kõigil suurematel merealadel Eesti territoriaalmere ulatuses, kuid lahtine agarikuvorm kasvab ainult Väinameres (Kersen *et al.* 2009).



Joonis 3. Kassari lahe punavetikakoosluses domineerivad makrovetikaliigid - agarik (*F. lumbricalis*) (A) ja *C. truncatus* (B)

Lahtiselt esineva agariku tallus on ilma kinnitusorganiteta ja radiaalse sümmeetriata. Tingimustes, kus puudub ülemine ja alumine pool, ei saagi radiaalne sümmeetriasis tekkida. Talluse keskmine pikkus on 4-4,5 cm ja keskmine diameeter 0,5-0,8 mm. Vetika värv varieerub rohekast ja helepunasest tumeda punakaspruunini. Kuivatatud isendid on mustad (Trei 1978). *F. lumbricalis* lahtise vormi ainsaks teadaolevaks paljunemisviisiks on vegetatiivne paljunemine, sest kestvatest vaatlustest hoolimata pole Kassari lahe lahtisel agarikul leitud paljunemisorganeid (Trei 1973; Norton & Mathieson 1983; Bird *et al.* 1991). Vegetatiivne paljunemine toimub fragmentatsiooni teel. Võrdlemisi haprad tallused

murduvad väiksemateks osadeks lainetuse lõhkuva toime tulemusena või vananemise tõttu. Vanad osad degenerereeruvad ja murduvad lahti, uued osad kasvavad edasi. Regeneratsioonivõime on kõikidel tallustel tugev (Trei 1973).

C. truncatus (joonis 3b) on morfoloogiliselt üsna sarnane agarikule. Mõlemal puuduvad radiaalsümeetria, kinnitus- ning reproduktiivorganid. *C. truncatus* omab aga agarikuga võrreldes palju peenemat, pikemate harudega ning õrnemat tallust (Trei 1978). Tavaliselt moodustab koosluse biomassist *F. lumbricalis* umbes 60-70% ning *C. truncatus* 30-35 %. Kuigi mõlemad liigid asustavad sarnast ökoloogilist nišši ning peaksid seetõttu olema potentsiaalsed konkurendid, pole neid kahte liiki praktiliselt kunagi leitud Kassari lahe punavetikakoosluses kasvamas lahus (Martin *et al.* 2006a).

2.2 Epibiondid

Epibiont on organism, kes elab teise organismi pinnal teda kahjustamata (Masing 1992) Vee tihedus ja viskoossus soodustab nii otseselt, kui kaudselt loomade-taimede sessiilset eluviisi. Seetõttu võib kinnituspind muutuda sellise eluviisiga liikidele limiteerivaks ressursiks. See omakorda on olnud põhjuseks, miks maismaal üpriski haruldane, kuid meres (bentosele) tüüpiline eluviis on välja kujunenud. Epibiontsed suhted on kõikjal looduses - nad on mitmekesised, muutlikud ning sügava ökoloogilise mõjuga. Epibiontide olemasolul on nii otseselt, kui kaudselt mõju basibiondi elujõulisusele, mõjutades tema suhet abiootilise ning biootilise keskkonnaga (Wahl 2008). Terminit „epifüüt“ on kasutatud kirjeldamaks taime, mis kasvab mingi objekti pinnal kui ka organismi, mis kasvab taime pinnal. Tänapäeval soovitatakse seda terminit kasutada pigem taimel kasvava organismi kohta (Steel & Wilson 2003). Assotsieerunud loomaliikide all käsitletakse käesolevas töös kõiki selgrootuid, kes elavad vetikakooslustes (Gestoso *et al.* 2010).

2.3 Kassari lahe lahtist punavetikakooslust mõjutavad keskkonnategurid

Eelnevad uuringud Kassari lahe lahtise punavetikakoosluse kohta on peamiselt keskendunud agarikukoosluse põhiliikide (*F. lumbricalis* ja *C. truncatus*) dünaamikat mõjuvate lokaalsetele ja regionaalsetele abiootilistele keskkonnateguritele (Martin *et al.* 2006a,b; Kersen & Martin 2007; Kersen *et al.* 2009; Paalme *et al.* 2011). Uuritud on ka bioloogiliste tegurite tähtsust punavetikakoosluse ning põhiliikide kasvu regulatsioonis (Kotta *et al.* 2008; Paalme *et al.* 2013). Vähem on aga uuritud kooslusega assotsieerunud makrovetikaid ning selgrootuid (Trei 1973; Trei 1978; Kotta & Orav 2001).

2.3.1 Lokaalsete ja regionaalsete abiootiliste keskkonnategurite mõju punavetikakoosluse dünaamikale

Valgus, veetemperatuur, vee liikumine ning toitainete sisaldus vees mõjutavad teadaolevalt enim makrovetikate kasvu (Lobban & Harris 1997). Samas reageerivad makrovetikad aga neile keskkonnateguritele komplekselt (reeglina on väga raske eristada erinevate tegurite otsest mõju). Kassari laht on suhteliselt madal veekogu, kus põhjasubstraadina domineerivad liivased-savised setted, millest tingituna sõltub vee läbipaistvus suures osas regionaalsetest ilmastikutingimustest. Märkimisväärne vee läbipaistvuse halvenemine Kassari lahe piirkonnas on põhjustatud tormiste ilmade poolt, mille tagajärjel halvenevad oluliselt valgustingimused punavetikakoosluse kasvualal (Paalme *et al.* 2011; Kersen & Martin 2007; Kersen *et al.* 2009).

Optimaalsed valgustingimused eksisteerivad punavetikakoosluse jaoks 3-4 m sügavusel (Martin *et al.* 2006a,b), vetikakoosluse põhimass paikneb aga 6-8 m sügavusel, mis on tingitud eelkõige põhja topograafiast ja lokaalsest avatuse mustrist (Kersen *et al.* 2009). Peale valgustingimuste mõjutavad *F. lumbricalis* ja *C. truncatus* kasvukiirust veetemperatuur (optimaalne kasvutemperatuur 15° juures). Mõlemad koosluses domineerivad vetikaliigid on praktiliselt ühesuguste kohastumustega nii valgustingimuste kui veetemperatuuri suhtes (Martin *et al.* 2006a,b).

Punavetikakoosluse biomassi varieeruvust kontrollib valguse ja veetemperatuuride vaheline koosmõju. Vetikakoosluse kõrgem biomass on iseloomulik aastatele, millal kevad-suvine veetemperatuur oli suhteliselt kõrge ning samaaegselt oli suur ka tuulevaiksete päevade arv (esines pikk selge veega periood, mis tagas vetikakoosluse kasvuks olulised valgustingimused) (Paalme *et al.* 2011).

Punavetikate kasvuks optimaalsed valgustingimused üksinda ei taga kõrget koosluse biomassi. Hea vee läbipaistvuse perioodil etendavad märkimisväärset osa biomassi kasvus ka mai-juuli veetemperatuurid: kõrgemad veetemperatuurid tagavad ilmselt punavetikate aktiivse kasvuperioodi varajasema alguse, pikendades seeläbi koosluse kasvuperioodi. Pikem kasvuperiood väljendus eelkõige kõrgemates biomassides (Paalme *et al.* 2011).

Talvised regionaalsed ilmastikutingimused mõjutasid märkimisväärselt kevadisi veetemperatuure. Nii valgustingimused vee all punavetikakoosluse kasvukohal kui ka veetemperatuurid olid seotud jääkatte kestvusega Kassari lahel. Jääpäevade arv omakorda

sõltus tuule tugevusest Kassari lahe piirkonnas sügis- ja talvekuudel (november-veebruar) ning oli otseselt seotud NAO talveindeksiga (Paalme *et al.* 2011).

Kuigi toitainete sisaldust vees peetakse tähtsaks keskkonnateguriks, mis reguleerib makrovetikate kasvu, ei leitud uuringutes olulist seost toitainete koormuse ja koosluse biomassi vahel. See on tingitud ilmselt eelkõige sellest, et *F. lumbricalis* ja *C. truncatus* puhul on tegemist mitmeaastaste suhteliselt aeglaselt kasvavate vetikaliikidega, mis reeglina on võimelised tagama oma kasvu kudedes olevate toitainete reservide arvelt. Samuti on Kassari lahe puhul tegemist mõõdukalt eutrofeerunud merealaga, kus toitained ilmselt ei limiteeri olulisel määral biomassi produktsiooni (Kersen *et al.* 2009; Paalme *et al.* 2011).

Ka tormiheidiste osa Kassari lahe punavetikakoosluse biomassi reguleerimisel osutus ebaoluliseks, kuna moodustas ainult 3% kogu koosluse biomassist. Samuti ei oma määravat tähtsust töenduslik väljapüük, mis moodustab ainult kuni 1% kogu punavetikakoosluse biomassist (Kersen & Martin 2007).

Uuringutes on ilmnenu ka see, et eksisteerib positiivne seos novembris-veebruariesinevate tormipäevade arvu ja punavetikakoosluse biomassi vahel. Tulemused viitavad ilmselt olulisele seosele sügis-talviste tormide ja jääkatte tekke ning kestvuse vahel. Neil aastatel, millal esinevad sügis-talvisel perioodil tugevad tormid laguneb jääkate kiiremini ning seega on vetikate vegetatsiooniperiood pikem ning kevad-suvised kasvutingimused soodsamad (Paalme *et al.* 2011).

Veetemperatuur ja valgustingimused punavetikate kasvusügavusel ei ole ainsateks teguriteks, mis reguleerivad punavetikakoosluse biomassi. Suure tõenäosusega on osa punavetikakoosluse biomassi aastate-vahelisest muutlikkusest seletatav valguse kui ühe olulisema keskkonnateguri kasutamise efektiivsusest, mida mõjutavad omakorda nii vetikakoosluse liigiline kui ruumiline struktuur (eelkõige domineerivate liikide *F. lumbricalis* ja *C. truncatus* osakaal koosluses ja vetikamati tihedus) (Paalme *et al.* 2011).

Kassari lahe lahtises punavetikakoosluses domineerivate liikide *F. lumbricalis* ja *C. truncatus* omavaheline suhe (%) koosluses sõltus uurimuse andmetel nii aastast kui ka asukohast (kas on tegemist punavetikakoosluse esinemise äärealade või sisealadega) ning samuti aasta ja asukoha koosmõjust. Reeglina oli *C. truncatus* osakaal mõnevõrra suurem punavetikakoosluse äärealadel. Samuti oli koosluse üldkatvus äärealadel madalam. Samas

ei leitud seost erinevate abiootiliste keskkonnategurite (näiteks vee läbipaistvus, toitained) ja punavetikakoosluses domineerivate vetikaliikide osakaalu vahel. See oli tingitud ilmselt sellest, et erinevate keskkonnategurite, eelkõige vee läbipaistvuse (samuti toitainete) varieeruvus vegetatsiooniperioodil ei sõltunud asukohast (koosluse ääre- ja sisealad) (Kersen *et al.* 2009; Paalme *et al.* 2011).

Kahe kooslust moodustava vetika juurdekasvu kiiruse ning seda mõjutavate keskkonnategurite uurimisel tuvastati, et suurim juurdekasv toimus madalatel sügavustel. Aastaajaline juurdekasv oli mõlemal liigil väga sarnane, olles kõige suurem suve alguses (Martin *et al.* 2006ab).

2.3.2 Bioloogiliste tegurite tähtsus Kassari lahe lahtise punavetikakoosluse ning selles domineerivate liikide *F. lumbricalis* ja *C. truncatus* kasvu regulatsioonis

F. lumbricalis ja *C. truncatus* kasvu Kassari lahe lahtises punavetikakoosluses reguleerivad nii konkurents kui mutualistlikud suhted (Kotta *et al.* 2008; Paalme *et al.* 2013). Punavetikate kasv sõltus vetikate tihedusest (ruumilise paiknemise tihedus) koosluses: kasvukiirus langes, kui vetikad asetsesid tihedamalt. Tiheduse suurenemine mõjutas kasvu negatiivselt nii kogu punavetikakoosluse kui domineeriva liigi tasemel. Liigitasemel mõjutas kasvu ka domineerivate liikide *F. lumbricalis* ja *C. truncatus* osakaal koosluses. Samas, kui ei arvestatud tihedust, ei mõjutanud *F. lumbricalis* osakaal vetikakihis koosluse juurdekasvu. Koosluse juurdekasv oli aga märkimisväärselt kõrgem madalate tiheduse väärtuste juures, võrreldes suurte tihedustega, kui *F. lumbricalis* osakaal koosluses oli kõrge. Madala *F. truncatus* osakaalu puhul koosluses ei omanud tihedus märkimisväärset mõju punavetikakoosluse juurdekasvule. Tõenäolisemalt on konkurentsimehhanismid olulisemad domineerivate punavetikate suuremate tiheduste korral punavetikakoosluses ja positiivne vastastikune mõju ilmneb madalate tiheduste puhul (Paalme *et al.* 2013).

Kõrge *C. truncatus* osakaal koosluses andis konkurentsisis eelise teisele punavetikaliigile *F. lumbricalis*. Sarnaselt soodustas *F. lumbricalis* kõrge osakaal koosluses *C. truncatus* kasvu. Selle põhjuseks võib pidada vähem domineeriva vetikaliigi paremat ruumilist paiknemist (valgus jaotunud ühtlaselt kogu vetikamaterjali vahel - vetikad ei varja iseennast) suboptimaalsete valgustingimuste puhul. Kuna *C. truncatus* tallus koosneb peenematest filamentidest, siis on ta võimeline kasvama *F. lumbricalis* talluste vahel. Seega, võib jäigema ja kompaktsema talluse ehitusega *F. lumbricalis* pakkuda „õrnema” tallusega *C. truncatus* ka head kaitset füüsilise häiringu eest - näiteks takistab *C. truncatus* talluste

tihedat „kokkupakkimist” lainetuse mõjul. Tänu sellele, et *F. lumbricalis* kujundab nii kaudselt punavetikakoosluse ruumilist struktuuri, soodustab ta *C. truncatus* ja seeläbi ka kogu punavetikakoosluse kasvu (Paalme *et al.* 2013).

Punavetikakihi paksus ei omanud olulist mõju koosluses domineerivate liikide *F. lumbricalis* ja *C. truncatus* füsioloogilisele seisundile, küll mõjutas aga märkimisväärselt valgustingimusi vetikamati sees erinevates „kihtides” ning mõjutas seeläbi vetikate primaarproduksiooni (Kotta *et al.* 2008).

2.3.3 Kassari lahe punavetikakooslusega assotseerunud vetikad ja selgrootud

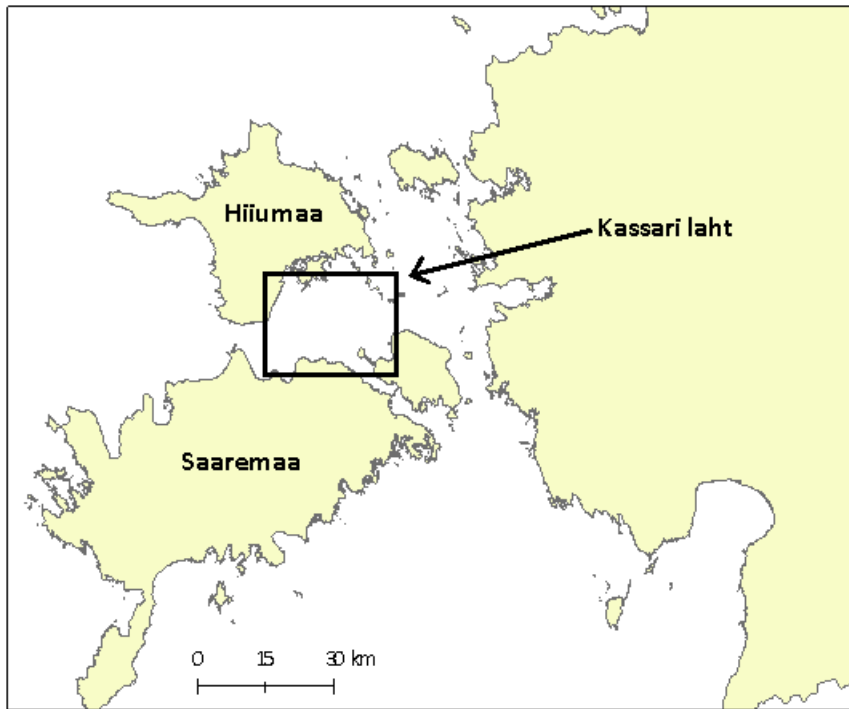
Lahtise punavetikakoosluse liigilist koosseisu uuriti viimati põhjalikumalt 1970ndatel aastatel. Kirjeldati kooslust üldiselt ning leiti 14 liiki vetikaid: *Ceramium tenuicorne*, *Chaetomorpha linum*, *C. truncatus*, *F. lumbricalis*, *P. littoralis*, *Polysiphonia fucoides*, *Sphacelaria arctica*, *Scytosiphon tortilis*, *Polysiphonia atro-rubescens*, *Chorda filum*, *Callithamnion roseum*, *Rhizoclonium riparium*, *Protohaloeteris radicans*, *Rhodomela confervoides* (Trei 1978). Selgrootutest mainiti söödavat rannakarpi (*Mytilus trossulus*, tavalist kamarlast (*Elecra crustulenta*), lamekeerme vesitigu (*Hydrobia ulvae*) ning üldisemalt kirpvähke ja kakandilisi (Trei 1973).

Uuringuid on tehtud ka Kassari lahe selgrootute kooslusega ning leiti, et tänu piirkonna suurele hüdrodünaamilisele aktiivsusele on sealse mokrozoobentose levik seotud varjumisvõimaluste olemasoluga madalamatel aladel ning toidu olemasolust ja lahtise punavetikakoosluse omadustest sügavamatel aladel. Lisaks võivad agarikukoosluse all elavatele liikidele (ebasoodsat) mõju avaldada võimalikud hüpoksilised tingimused (Kotta & Orav 2001).

3. MATERJAL JA METOODIKA

3.1 Uurimisala

Kassari laht, ka Hiiu väin, asub Hiiumaa kaguranniku ning Saaremaa põhja- ja Muhu looderanniku vahel. Laht on Muhu väina (Väinamere) lääneosa, mis läänes kitseneb Soela väinaks (joonis 4).

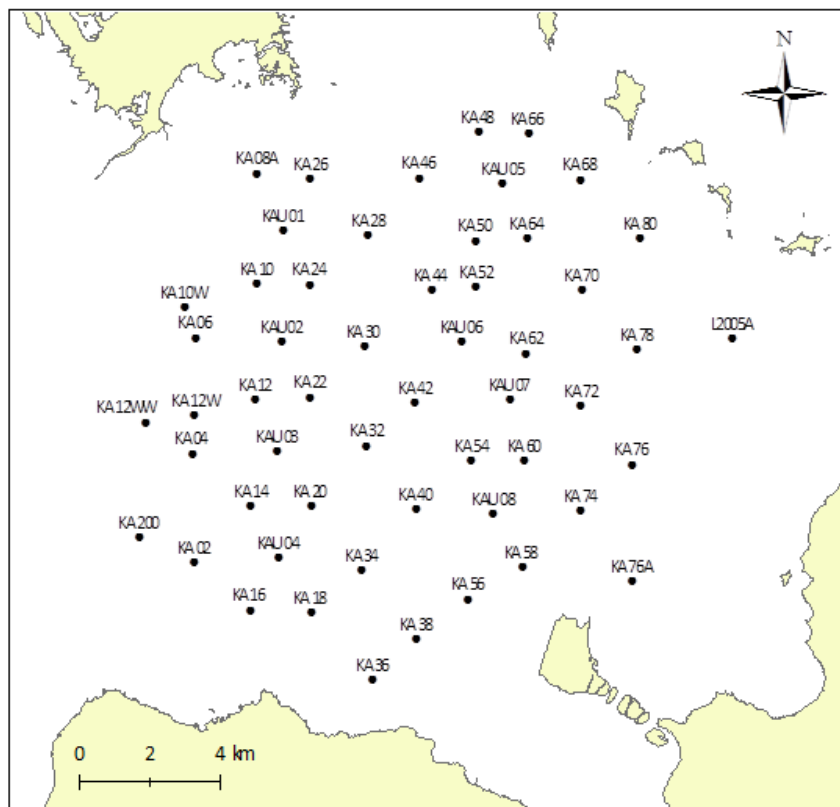


Joonis 4. Uurimisala

Kassari laht on Väinamere üks soolasemaid piirkondi, tavaliselt umbes 6-8 promilli (Trei 1965, 1978; Suursaar *et al.* 2001). Vee läbipaistvus lahes on madal (Trei 1978; Kotta *et al.* 2008) ning talvel on laht kaetud jääkattega. Laht on madal, maksimaalseks sügavuseks 9 meetrit. Püsivad länetuuled võivad lahes soolsust tõsta ning ka veetase võib samadel põhjustel muutuda (Trei 1965; Suursaar *et al.* 2001). Põhjasetetest valitsevad liiv ja savi, kusjuures viimane on peaaegu alati kaetud 1-4 cm paksuse liivakihi. Kohati esineb kive - peamiselt rannaäärsetel aladel.

3.1.1 Proovipunktid

Töös kasutatud materjal koguti 2011. a. juulis TÜ Eesti Mereinstituudi poolt Kassari lahes läbiviidud regulaarse punavetikavarude seire käigus. Agarikukoosluse kvantitatiivsed proovid koguti 54-st seirejaamast (joonis 5). Kassari lahe seirejaamade võrgustik on olnud kasutusel alates 1970ndatest aastatest (2009. a. lisati 8 uut seirejaama, et tagada uurimisala ühtlasem kaetus proovipunktidega, võimaldamaks punavaetikakoosluse ja seda iseloomustavate parameetrite täpsemat interpoleerimist levikukaartide koostamisel). Proovipunktide täpse asukoha määramiseks kasutati GPS-navigaatorit.

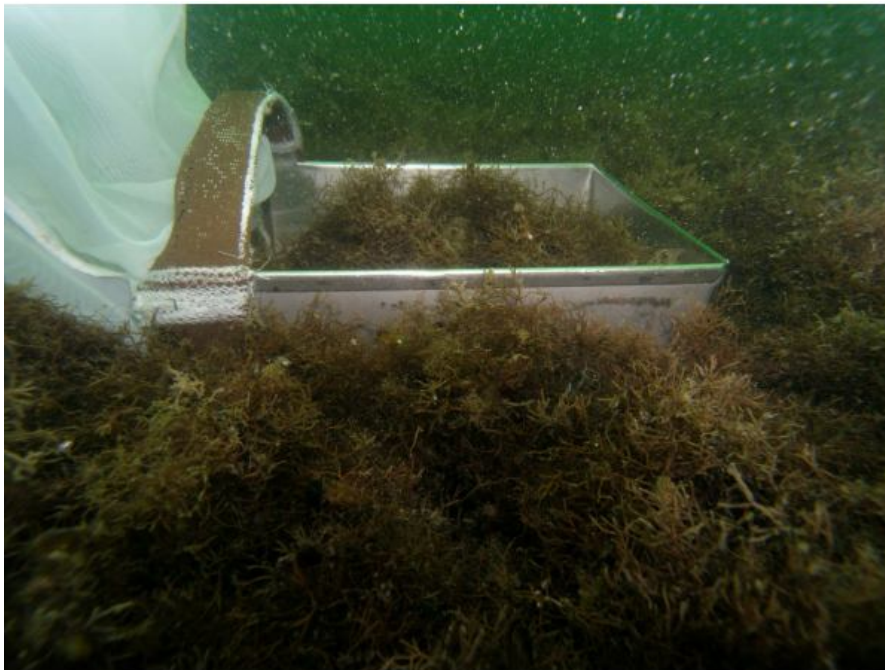


Joonis 5. Proovipunktid Kassari lahes

3.2 Proovide kogumine ja töötlemine

Proovide kogumiseks kasutati standartse suurusega (20x20 cm) taimeraami (joonis 6). Proovipunktis sukelduja poolt põhja asetatud taimeraami sisse jäänud taimed ja loomad koguti kokku, pakendati kilekotti, mis markeeriti ja säilitati kuni hilisema külmutamiseni termokastis. Sukeldujad andsid hinnangu ja registreerisid vetikakihi paksuse ja punavetikakoosluse üldkatvuse proovipunktis.

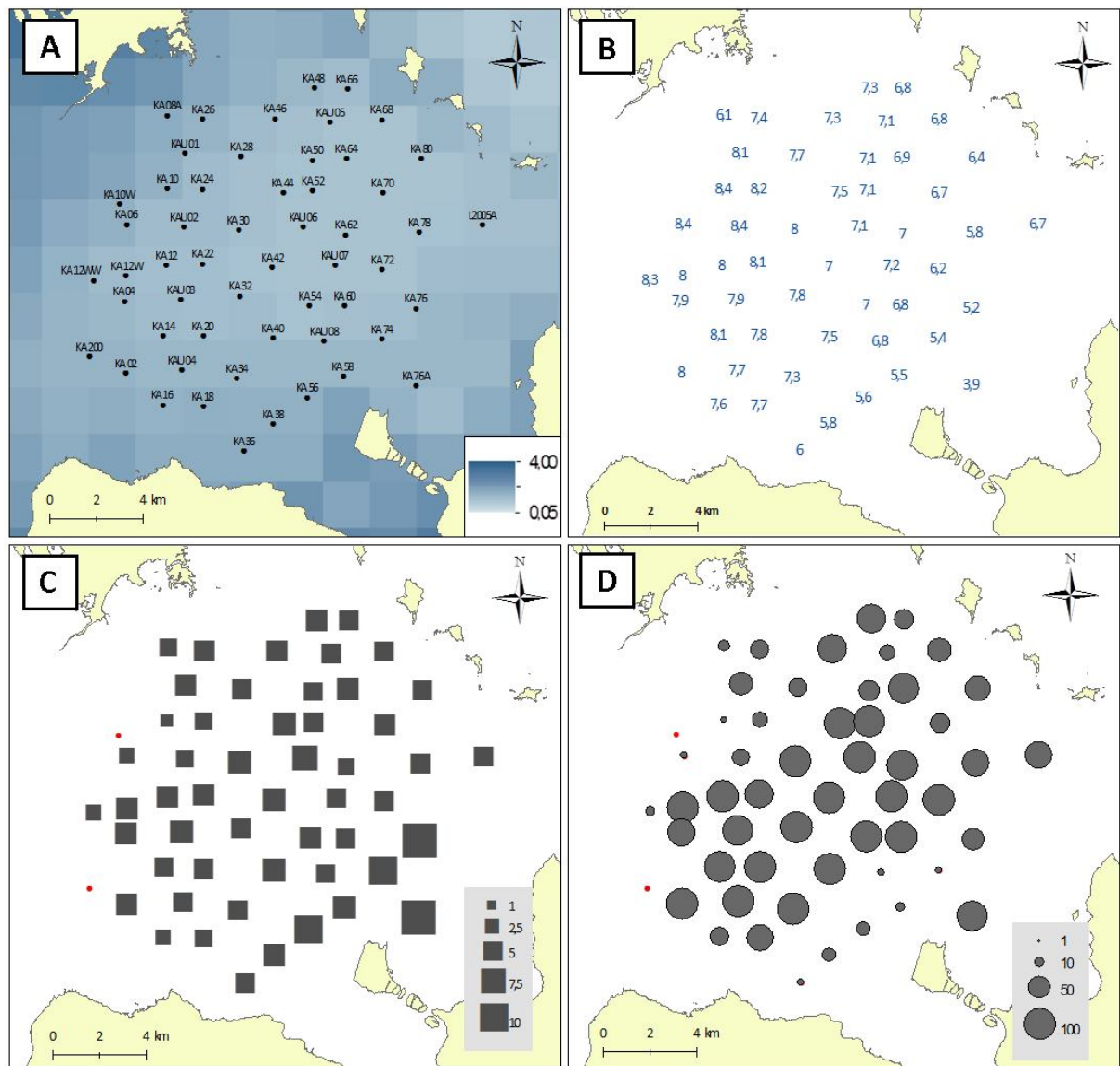
Kogutud proovid säilitati laboris sügavkülmutatult kuni analüüsimiseni. Analüüsimiseks proov sulatatakse, vajadusel pesti välja sete, mikroskoobi (objektiivi suurendus 4-100×, okulaari suurendus 10×) ja/või stereomikroskoobi (objektiivi suurendus 1-6,3×, okulaari suurendus 10×) all määrati taimed ja loomad liigini, mõnede taksonite puhul aga perekonnani (*Idotea*), sugukonnani (*Chironomidae*) või seltsini (*Trichoptera*). Eraldatud liigid pakendati fooliumisse ja kuivatati kuivatuskapis temperatuuril 60 °C, kaks nädalat. Kuivatatud proovid kaaluti torsioonkaaludel (täpsus ±0,0001 g), vahetult pärast kapist väljavõtmist. Vastavalt proovivõtuvahendi (sampleri) mõõtmetele arvutati kuivmass grammides 1 m² kohta. Selleks korrutati proovi biomassi väärtused läbi sampleri kordajaga - (Kautsky) taimeraam 25×. Proovide analüüsi viis läbi töö autor.



Joonis 6. Taimeraam, mida kasutati kvantitatiivsete vetikaproovide võtmiseks Kassari lahes

3.3 Andmeanalüüs

Epifüütide koosseisu ja kooslust ning kasvukohta iseloomustavate parameetrite - sügavus, üldkatvus, vetikakihi paksus, valguse hajuvuskoefitsient vees (kd) (joonis 7) ja peremeestaimede biomass (joonis 8) vaheliste seoste ruumilisi erinevusi analüüsiti mitmemõõtmeliste meetoditega, kasutades programmi PRIMER 6.1.5 (Clarke & Warwick 2001). Kaartide tegemisel kasutati kaardirakendust ArcMap 11.



Joonis 7. Kasvukohta iseloomustavad parameetrid. **A** – kd, **B** – sügavus (m), **C** – vetikakihi paksus (cm), **D** – üldkatvus (%)

Statistiliseks usaldusnivooks valiti 0,05. Algandmed transformeeriti (neljas juur) enne andmeanalüüsi, et vähendada suurema biomassiga liikide mõju ning tähtsustada proovis pigem liikide olemasolu (Clarke & Warwick 2001).

Sarnasusmaatriksite koostamisel kasutati Bray-Curtis indekseid (Bray & Curtis 1957). Koosluste koosseisu erinevate keskkonnatingimustega piirkondades võrreldi mitmemõõtmelisel ordineerimisel (*MDS, non metric multidimensional scaling*). Erinevate eelmääratud vahemike (tabel 1) vahel esinevad statistilised erinevused leiti ANOSIM permutatsioonitestiga.

Tabel 1. Keskkonnaparameetrid, nende ühikud ning eelmääratud vahemikud

Keskkonnaparameeter	Ühik	Vahemikud
Sügavus	m	<6, 6-7, >7, 8-9
Vetikakihi paksus	cm	>4,5, 4,5-6, >6
Üldkatvus	%	<20, 25-40, 45-75, 80-95, 100
Valguse hajuvuskoeffitsient vees (kd) -		<0,8, 0,8- 1, >1
Basibiontide biomass	g/m ²	<50, 50-200, >200

Erinevusi põhjustavad liigid leiti SIMPER analüüsi abil (Clarke 1993). Simper analüüsi tulemuste esitamisel kasutati järgmisi indekseid (Clarke & Warwick 2001):

- Koosluse sarnasus - vaadeldava elupaiga koosluste sarnasus SIMPER analüüsi põhjal (*avarage similarity within a group*)
- Sarnasus/SD - liigi leviku ühtlus vaadeldavas elupaigas (*avarage similarity / standard deviation of similarity values*)
- Tähtsus - liigi osakaal vaadeldava elupaiga koosluste sarnasuse põhjustajana (*% of the similarity contributed by the species*)

Vee läbipaistvuse iseloomustamiseks, proovipunktides, valiti valguse 3 aasta keskmine hajuvuskoeffitsient vees (kd), mis on mõõdetud MODIS sateliidi poolt. Sateliidi ruumiline resolutsioon on 1 km. Valgustingimusi kasvukohas (konkreetses proovipunktis) hinnati kaudselt sügavuse, kd ja vetikakihi paksuse kaudu.

Kasvukoha tingimuste ja kooslustes domineerivate liikide omavaheliste seoste kujutamiseks kasutati kanoonilist vastavusanalüüsi (*CCA, canonical correspondence analysis*), mida teostati programmi Microsoft Excel lisaga - XLSTAT. Kanoonilises vastavusanalüüsis kasutati transformeerimata algandmeid.

Analüüsides jäeti välja taime- ja loomaliigid, mille sattumine proovi oli suure tõenäosusega juhuslik (sagedus proovides jäi alla 10 %, tabel 2). Lisaks ka *Macoma balthica*, kelle isendid sattusid proovi põhjasettest.

4. TULEMUSED

4.1 Liigiline koosseis

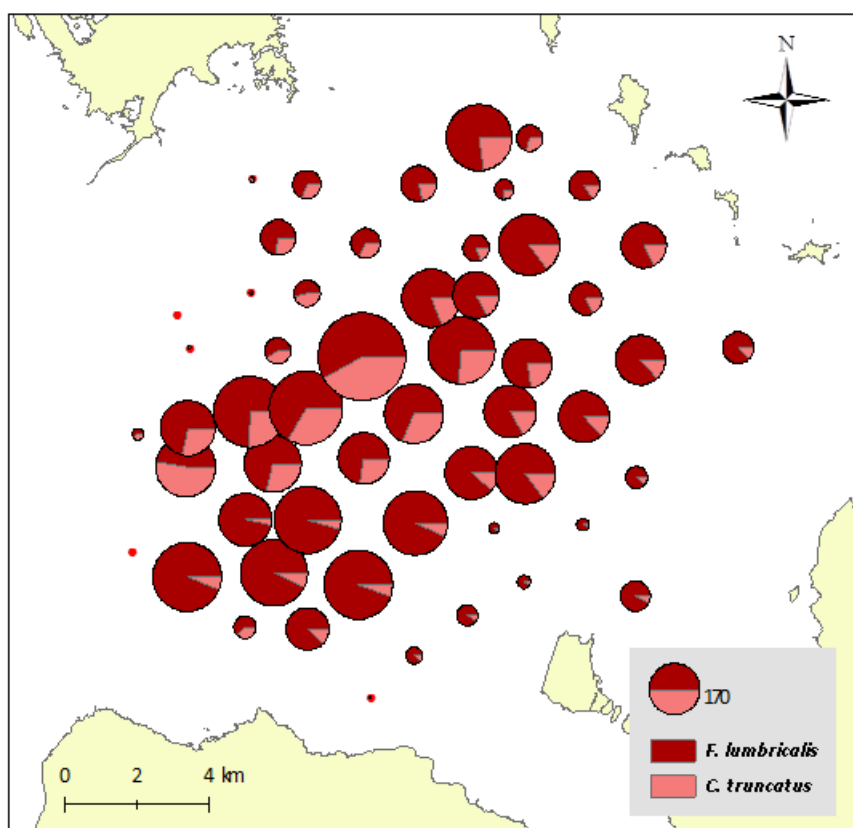
Kokku määrati uurimisalal 32 taksonit, neist 21 looma- ja 11 taimeliiki (tabel 2).

Tabel 2. Proovidest leitud taksonid ning nende sagedus proovides (%)

Liigid (1)	Eestikeelne nimetus (2)	Sagedus proovides, % (3)
TAIMED		
RHODOPHYTA	PUNAVETIKAD	
<i>Furcellaria lumbricalis</i>	Agarik	100
<i>Coccotylus truncatus</i>		98
<i>Ceramium tenuicorne</i>		73
<i>Polysiphonia fucoides</i>		88
CHLOROPHYTA	ROHEVETIKAD	
<i>Chaetomorpha linum</i>		94
<i>Cladophora glomerata</i>		21
<i>Cladophora rupestris</i>		2
CHAROPHYTA	MÄNDVETIKAD	
<i>Chara aspera</i>	Kare mändvetikas	2
<i>Tolypella nidifica</i>	Pesajas tolüpell	8
PHAETOPHYTA	PRUUNVETIKAD	
<i>Sphacelaria arctica</i>		100
<i>Pilayella littoralis</i>		10
LOOMAD		
CRUSTACEA	VÄHILAADSED	
<i>Asellus aquaticus</i>	Tavaline vesikakand	60
<i>Corophium volutator</i>	Harilik kootvähk	6
<i>Gammarus juv.</i>	Noored kirpvähid	81
<i>Gammarus oceanicus</i>	Ookeani kirpvähk	2
<i>Gammarus salinus</i>	Mere kirpvähk	96
<i>Idotea sp.</i>	Perekond lehtsarv	2
<i>Leptocheirus pilosus</i>	Roosteselg-kirpvähk	50
<i>Neomysis integer</i>	Harilik kuulmiksaba	4
<i>Palaemon adspersus</i>	Läänemere garneel	2
<i>Praunus flexuosus</i>	Suur tähnikmüsiid	4
<i>Saduria entemon</i>	Merikilk	2
MOLLUSCA	LIMUSED	
<i>Cerastoderma glaucum</i>	Söödav südakarp	96
<i>Hydrobia ulvae</i>	Lamekeermene vesitigu	46
<i>Macoma balthica</i>	Balti lamekarp	92
<i>Mytilus trossulus</i>	Söödav rannakarp	100
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	Vesiking	100
ANNELIDA	RÕNGUSSID	
<i>Bylgides sarsi</i>	Soomususs	2
<i>Hediste diversicolor</i>	Tavalineharjas liimukas	21

(1)	(2)	(3)
BRYOZOA	SAMMALLOOMAD	
<i>Electra crustulenta</i>	Tavaline kamarlane	98
ARTHROPODA	LÜLIJALGSED	
<i>Trichoptera</i>	Selts ehmeštiivalised	2
<i>Chironomidae</i>	Sugukond surusääsklased	2

Lahtise agarikukooluse põhiliigid *F. lumbricalis* ja *C. truncatus* moodustasid koosluse biomassist keskmiselt 69 % (*F. lumbricalis* 55 % ja *C. truncatus* 14 %). Joonisel 8 on kujutatud basibiontide biomassi jaotumist ja vastastikust suhet uurimisalal. Ülejäänud vetikate osakaal oli 7 % ning loomad moodustasid biomassist 24 %.



Joonis 8. Basibiontide *F. lumbricalis* ja *C. truncatus* biomass punavetikakoosluse erinevates punktides

4.2 Taimsed epifüüdid ja kooslusega assotsieerunud vetikad

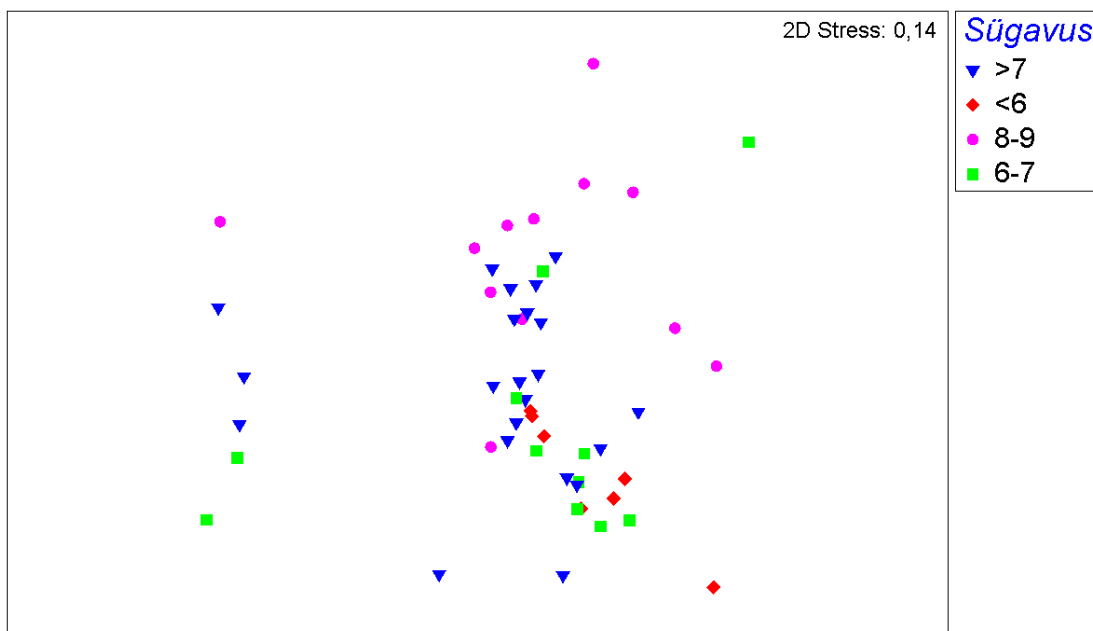
Lahtise punavetikakoosluse taimsete epifüütide koosluse mitmemõõtmelisel ordineerimisel (MDS) ei moodustanud epifüüdid erinevatel sügavustel (joonis 9), vetikakihi paksustel, üldkatvustel, valguse hajuvuskoeffitsentidel vees ning basibiontide biomassidel (joonis 10) välja selgelt eristuvaid gruppe.

Samas näitas ANOSIM analüüs, et vetikakoolused erinevatel sügavustel ($p=0,02$), üldkatvustel ($p=0,01$) ning basibiontide biomassidel ($p=0,002$), erinesid üksteisest. Seda erinevust aga ei leitud erinevate vetikakihi paksuste ning valguse hajuvuskoeffitsendi vees puhul (ANOSIM, $p>0,05$).

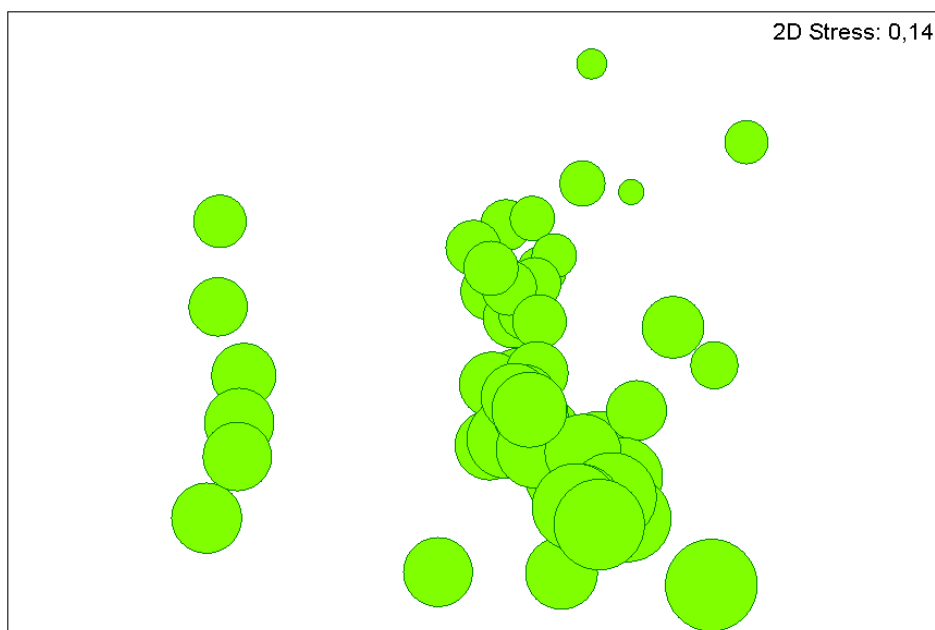
SIMPER analüüsist selgus, et domineerivad liigid, mis põhustavad koosluste ruumilist varieeruvust on *S. arctica*, *P. fucoides* ning *C. linum* (tabel 3). Kasvkoha keskkonnatingimuste ja eespool ära toodud domineerivate liikide omavahelised seosed on esitatud joonisel (CCA, $p=0,002$, joonis 11). Analüüsis kasutatud keskkonnaparameetritest omasid suuremat tähtsust sügavus ja basibiontide biomass.

Domineerivate vetikaliikide biomasside varieerumine uurimisala erinevates punktides on esitatud joonisel 12. Taimsete epifüütide maksimaalseks biomassiks mõõdeti vastavalt: *S. arctica* - 11,5 g/m², *P. fucoides* - 50,7 g/m², *C. linum* - 0,2 g/m².

Kiiresti kasvavad niitjad vetikad *P. littoralis* ja *C. glomerata* olid proovides vähe esindatud ning ei avaldanud mõju koosluse ruumilisele varieeruvusele (SIMPER, tabel 2, joonis 13)



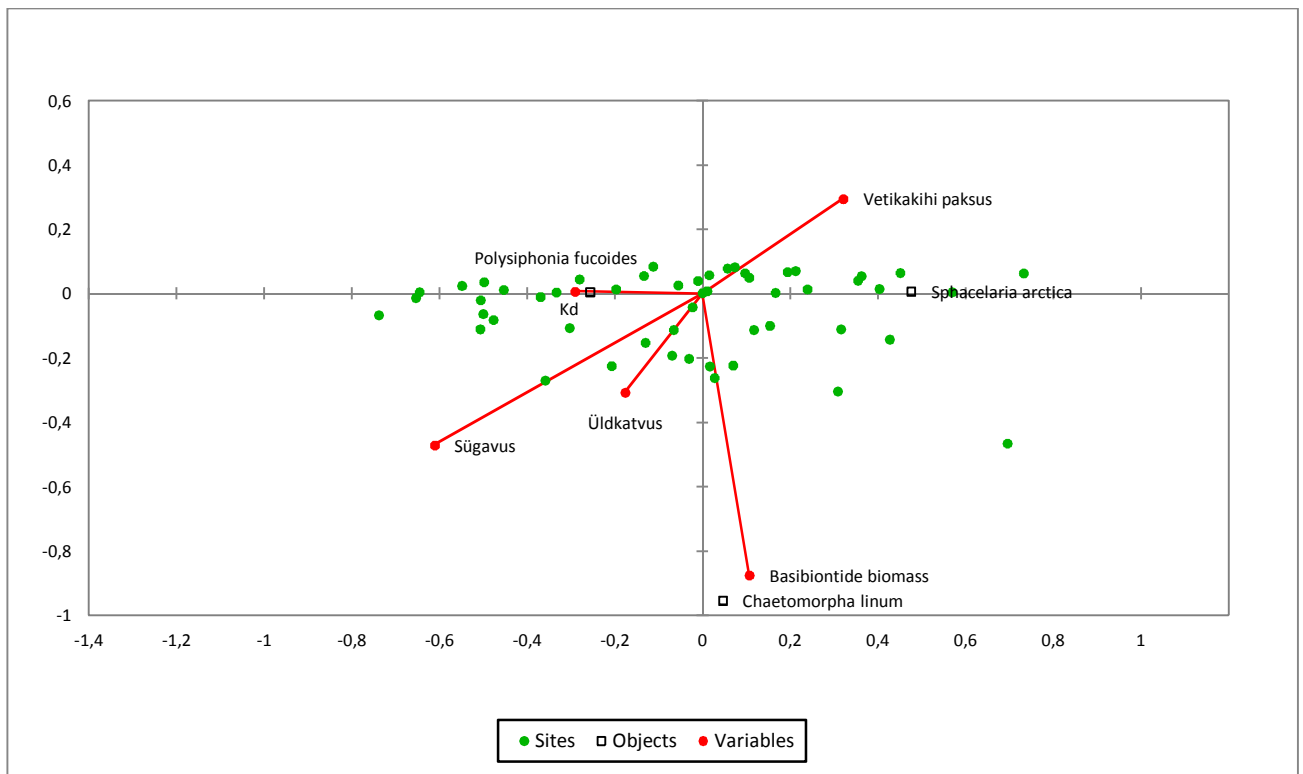
Joonis 9. Taimsete epifüütide koosluste mitmemõõtmeline ordineerimine erinevatel sügavusvahemikel (MDS).



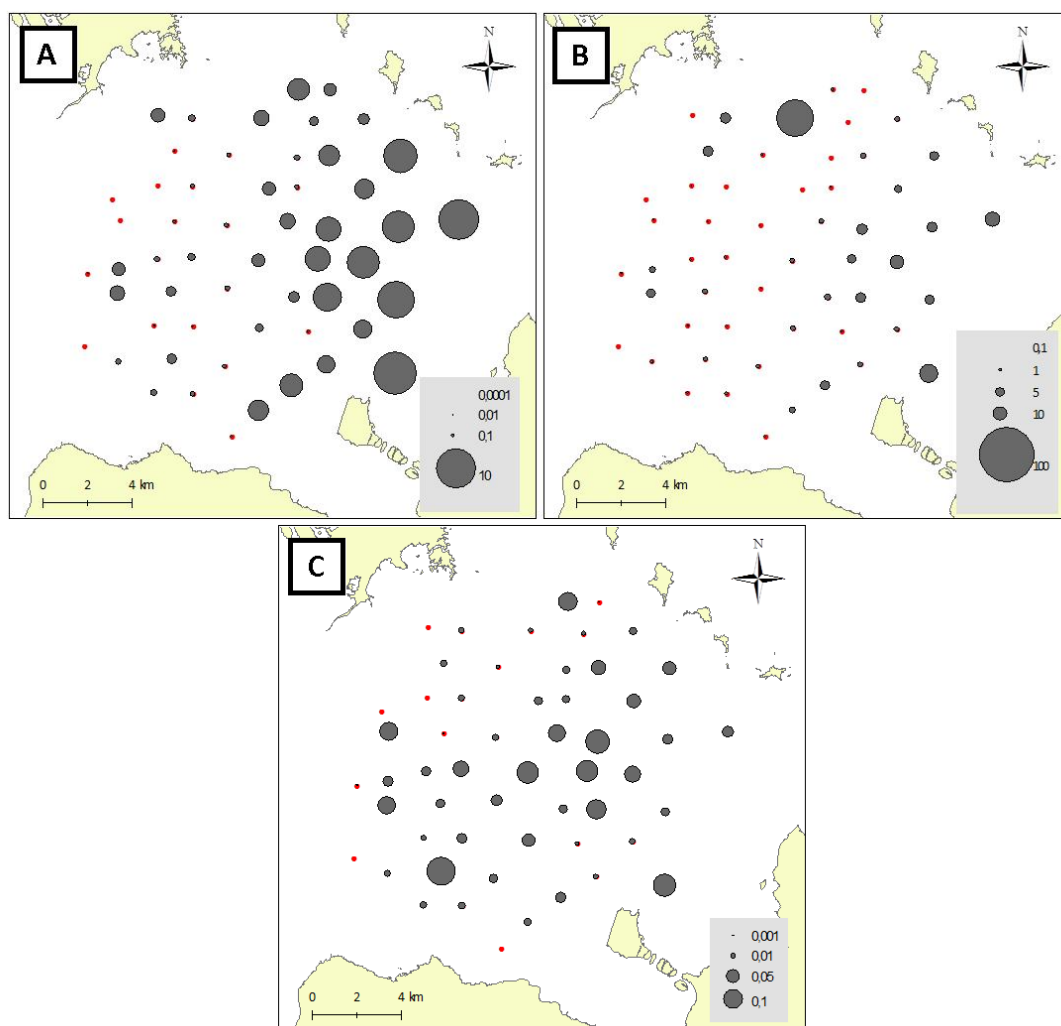
Joonis 10. Taimsete fütobiontide koosluste mitmemõõtmeline ordineerimine (MDS). Ringide suurus näitab *S. arctica* biomassi (g/m^2 kohta) elupaigas, vastavalt basibiontide biomasside gupeerumisele.

Tabel 3. Taimekoosluste varieeruvus erinevatel sügavustel ja vaadeldud sügavustele kõige isloomulikumat vetikaliigid SIMPER analüüsi põhjal. Koosluste sarnasus – vaadeldava sügavuse taimekoosluse sarnasus. Biomass – liigi keskmine biomass g/m^2 . Sarnasus/SD liigi leviku ühtlus vaadeldava sügavuse koosluses. Tähtsus – liigi osakaal vaadeldava sügavuse koosluste sarnasuse põhjustajana.

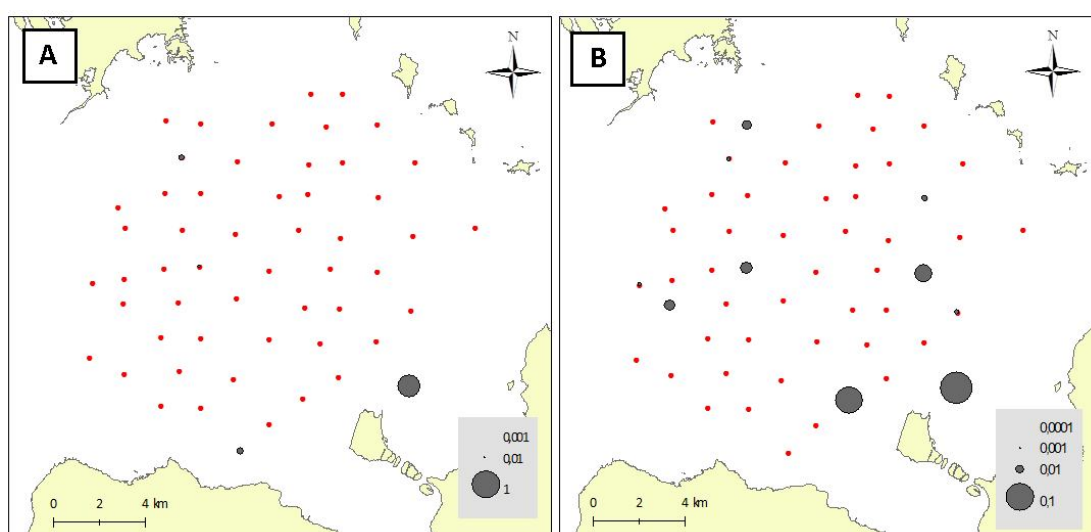
Sügavus 8-9		Koosluste sarnasus: 68,47	
Liik	Biomass	Sarnasus/SD	Tähtsus %
<i>Polysiphonia fucoides</i>	0,88	2,07	46,31
<i>Sphacelaria arctica</i>	0,57	2,27	28,08
<i>Chaetomorpha linum</i>	0,34	1,94	16,86
Sügavus >7		Koosluste sarnasus: 73,25	
Liik	Biomass	Sarnasus/SD	Tähtsus %
<i>Sphacelaria arctica</i>	0,92	3,53	38,97
<i>Polysiphonia fucoides</i>	1,08	1,62	35,86
<i>Chaetomorpha linum</i>	0,44	3,85	19,24
Sügavus 6-7		Koosluste sarnasus: 65,67	
Liik	Biomass	Sarnasus/SD	Tähtsus %
<i>Sphacelaria arctica</i>	1,20	2,79	47,45
<i>Polysiphonia fucoides</i>	1,12	1,33	34,45
<i>Chaetomorpha linum</i>	0,35	1,28	10,47
Sügavus <6		Koosluste sarnasus: 82,56	
Liik	Biomass	Sarnasus/SD	Tähtsus %
<i>Sphacelaria arctica</i>	1,47	7,29	41,30
<i>Polysiphonia fucoides</i>	1,48	7,43	40,91
<i>Chaetomorpha linum</i>	0,41	7,49	11,16



Joonis 11. Kasvkoha tingimuste ja domineerivate taimeliikide omavaheliste seoste kanooniline vastavusanalüüs (CCA). • - Proovipunkt, □ - Liik, • - Keskkonnaparameeter



Joonis 12. Domineerivate vetikaliikide biomass proovipunktides. **A** – *S. arctica*, **B** – *P. fucoides*, **C** – *C. linum*



Joonis 13. Kiirestikasvavate niitjate vetikate biomass proovipunktides. **A** – *P. littoralis* **B** – *C. glomerata*

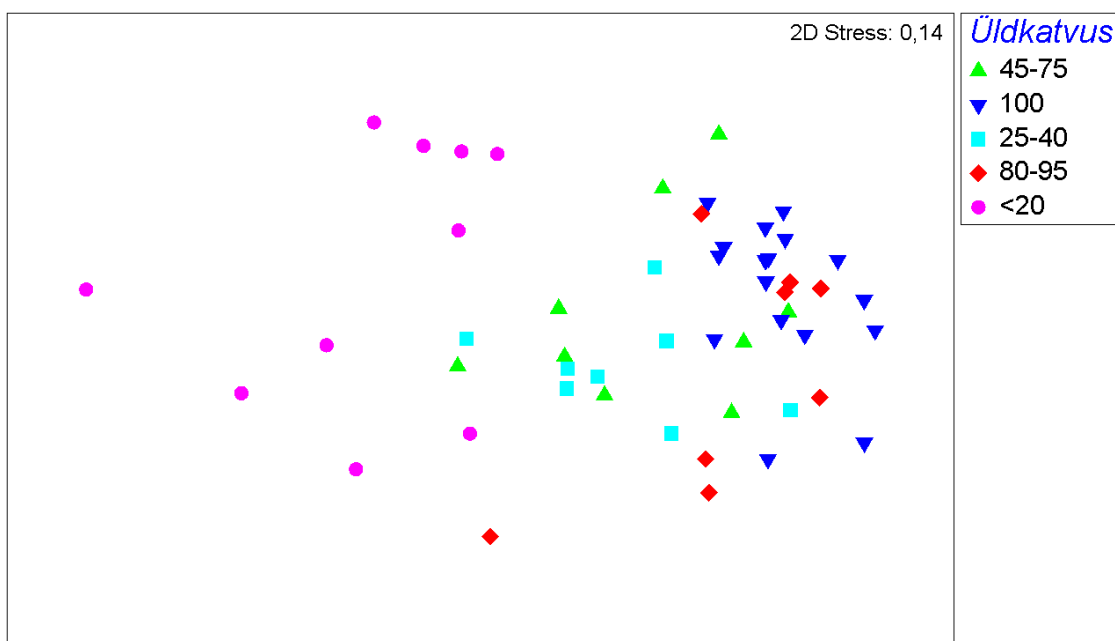
4.3 Loomsed epifüüdid ja kooslusega assotsieerunud selgrootud

MDS analüüs näitas, et kooslusega assotsieerunud selgrootud moodustasid erinevatel üldkatvustel (joonis 14) ja basibiondi biomassidel (joonis 15) välja selgelt eristuvad grupid. Sügavuse, valguse hajuvuskoeffitsendi vees ning vetikakihi paksuse puhul selgelt eristuvaid gruppe ei moodustunud (MDS).

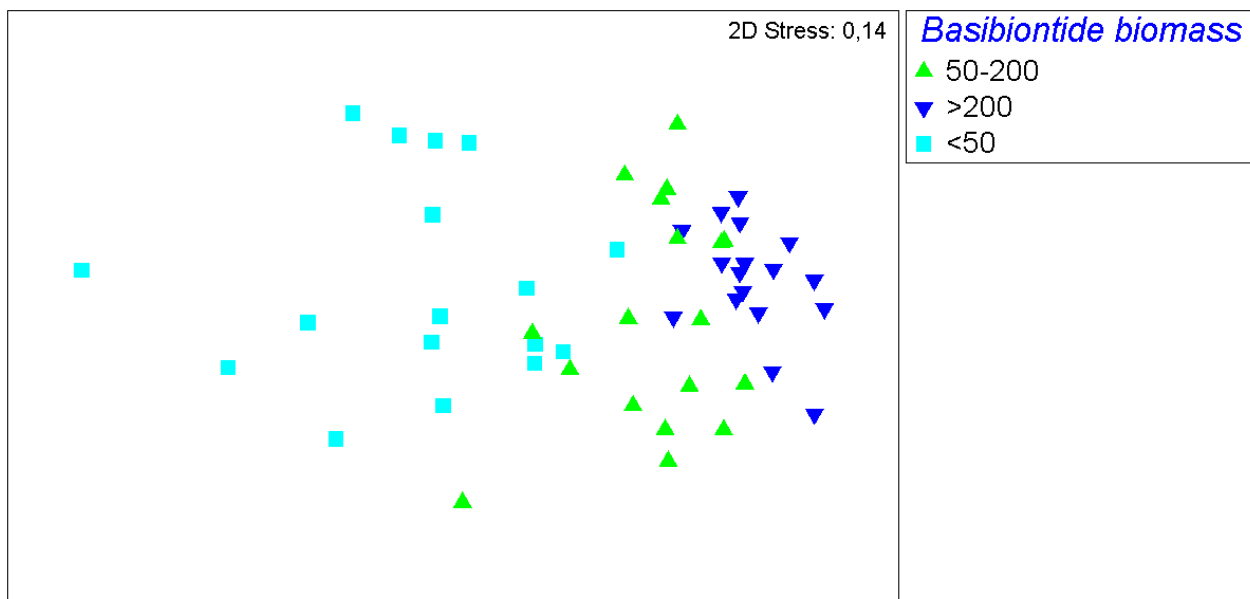
Kõik loomakooslused erinesid analüüsis kasutatud keskkonnaparameetrite erinevatel väärtustel üksteisest oluliselt (ANOSIM, $p < 0,05$). Vastavalt, erinevad sügavustel ($p=0,001$); üldkatvustel ($p=0,001$); vetikakihi paksustel ($p=0,03$); valguse hajuvuskoeffitsentidel ($p=0,02$); basibiontide biomassidel ($p=0,001$).

Domineerivad ja koosluste ruumilist varieeruvust põhjustavad loomaliigid on *M. trossulus*, *H. ulvae*, *Theodoxus fluviatilis* ja *Gammarus salinus* (SIMPER, tabel 4, tabel 5). Kasvkoha looduslike tingimuste ja domineerivate liikide omavahelisi seoseid illustreerib joonis (CCA, $p=0,004$, joonis 16).

Domineerivate selgrootute biomasside varieerumist uurimisala erinevates punktides iseloomustab joonis 17. Kooslusega assotsieerunud selgrootute maksimaalseks biomassiks mõõdeti vastavalt: *M. trossulus* - $68,3 \text{ g/m}^2$, *H. ulvae* - $1,6 \text{ g/m}^2$, *T. fluviatilis* - 7 g/m^2 , *G. salinus* - $0,40 \text{ g/m}^2$.



Joonis 14. Loomsete epifüütide koosluste mitmemõõtmeline ordineerimine erinevatel üldkatvuse vahemikel (MDS).



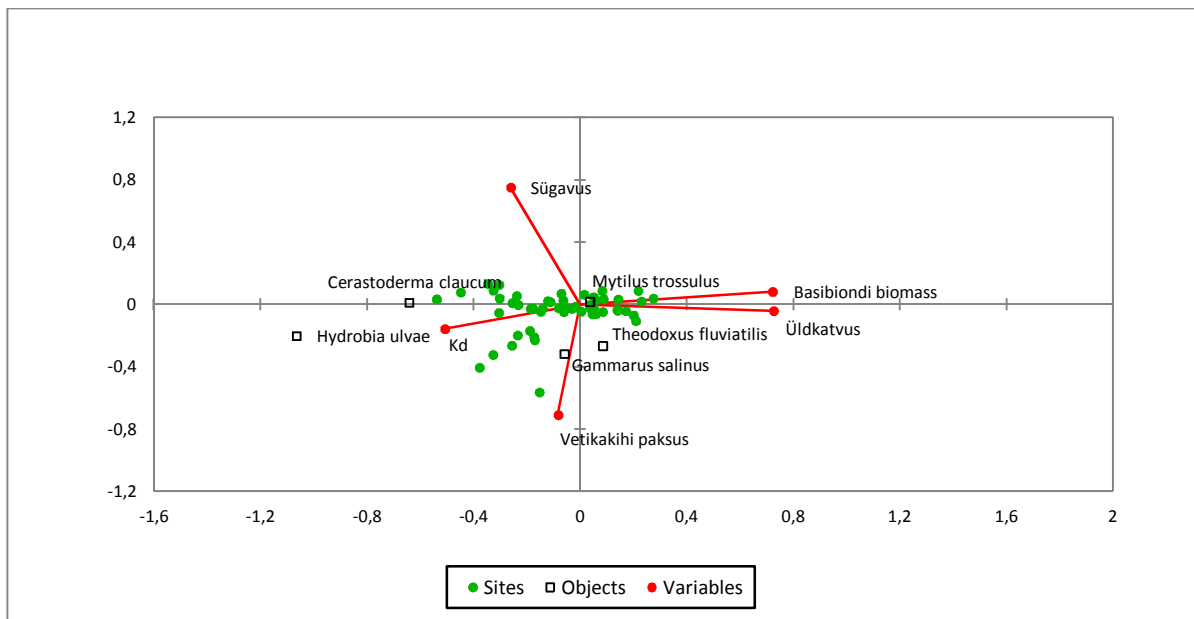
Joonis 15. Loomsete epifüütide koosluste mitmemõõtmeline ordineerimine erinevatel basibiontide biomassi vahemikel (MDS).

Tabel 4. Loomakoosluste varieeruvus erinevatel basibiondi biomassidel ja vaadeldud basibiondi biomassidele kõige isloomulikumat loomaliigid SIMPER analüüsi põhjal. Koosluste sarnasus - vaadeldava basibiontide biomasside taimekoosluse sarnasus. Biomass - liigi keskmine biomass g/m². Sarnasus/SD liigi leviku ühtlus vaadeldava basibiontide biomassi koosluses. Tähtsus - liigi osakaal vaadeldava basibiontide biomassi koosluste sarnasuse põhjustajana.

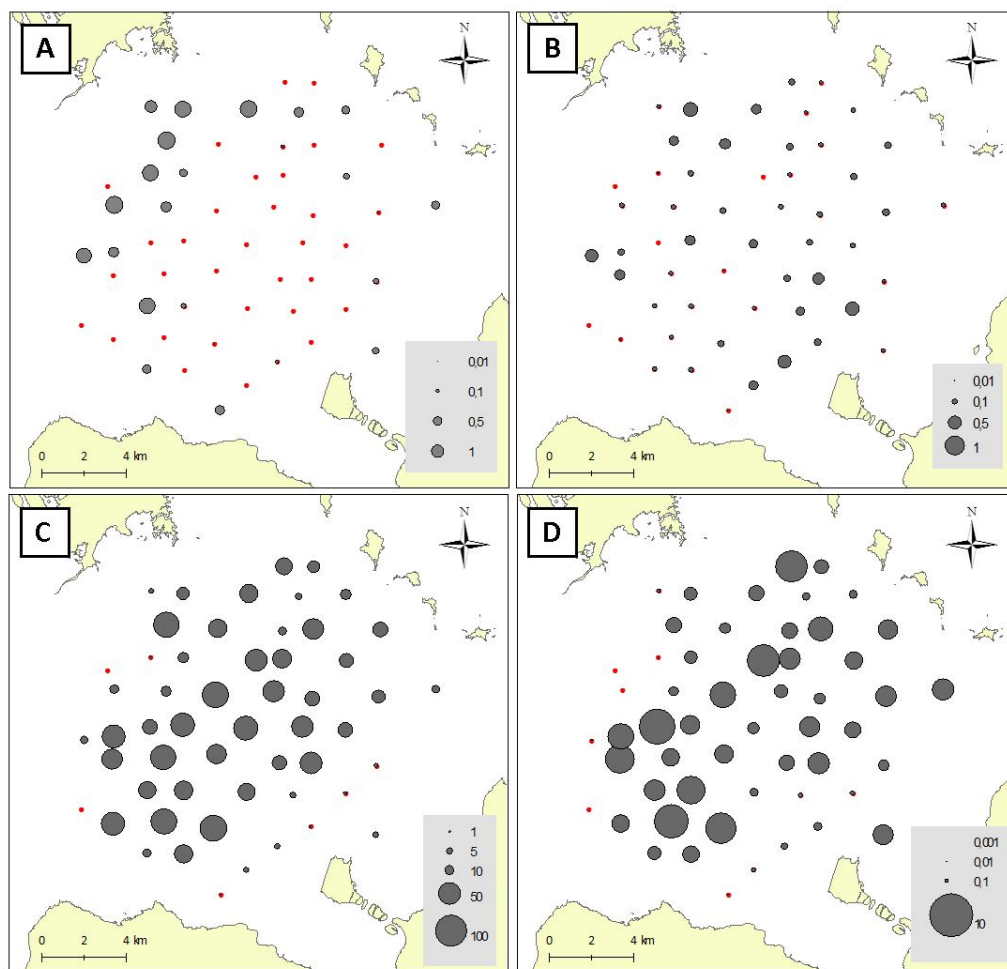
Basibiontide biomass 50-200 Koosluste sarnasus: 80,17			
Liik	Biomass	Sarnasus/SD	Tähtsus%
<i>Mytilus trossulus</i>	2,26	7,94	42,07
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	1,13	6,12	21,68
<i>Cerastoderma claucum</i>	0,96	1,63	13,27
<i>Gammarus salinus</i>	0,57	8,91	10,78
<i>Gammarus juv.</i>	0,30	1,44	4,65
Basibiontide biomass >200 Koosluste sarnasus: 85,70			
Liik	Biomass	Sarnasus/SD	Tähtsus%
<i>Mytilus trossulus</i>	2,64	17,22	45,17
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	1,30	5,32	20,89
<i>Cerastoderma claucum</i>	1,07	6,65	16,94
<i>Gammarus salinus</i>	0,51	1,74	6,88
<i>Asellus aquaticus</i>	0,45	1,34	5,45
Basibiontide biomass <50 Koosluste sarnasus: 76,13			
Liik	Biomass	Sarnasus/SD	Tähtsus%
<i>Mytilus trossulus</i>	1,48	7,70	40,99
<i>Cerastoderma claucum</i>	0,72	3,45	18,01
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	0,71	2,97	17,47
<i>Gammarus salinus</i>	0,38	4,35	9,89
<i>Hydrobia ulvae</i>	0,40	0,94	7,60

Tabel 5. Loomakoosluste varieeruvus erinevatel üldkatvustel ja vaadeldud üldkatvustele kõige isloomulikumat loomaliigid SIMPER analüüsi põhjal. Koosluste sarnasus - vaadeldavate üldkatvuse taimekoosluse sarnasus. Biomass - liigi keskmine biomass g/m². Sarnasus/SD liigi leviku ühtlus vaadeldava üldkatvuse koosluses. Tähtsus - liigi osakaal vaadeldava üldkatvuse koosluste sarnasuse põhjustajana.

Üldkatvus 45-75			
		Koosluste sarnasus: 78,55	
Liik	Biomass	Sarnasus/SD	Tähtsus %
<i>Mytilus trossulus</i>	2,08	5,83	40,17
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	1,14	6,20	23,36
<i>Cerastoderma claucum</i>	0,83	1,58	13,74
<i>Gammarus salinus</i>	0,54	9,15	11,16
<i>Hydrobia ulvae</i>	0,43	0,79	4,76
Üldkatvus 100			
		Koosluste sarnasus: 84,87	
Liik	Biomass	Sarnasus/SD	Tähtsus %
<i>Mytilus trossulus</i>	2,59	16,07	44,12
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	1,26	6,10	20,32
<i>Cerastoderma claucum</i>	1,03	4,50	15,52
<i>Gammarus salinus</i>	0,50	1,74	6,94
<i>Asellus aquaticus</i>	0,49	2,19	6,82
Üldkatvus 25-40			
		Koosluste sarnasus: 84,24	
Liik	Biomass	Sarnasus/SD	Tähtsus %
<i>Mytilus trossulus</i>	1,97	12,21	38,71
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	0,98	11,53	19,67
<i>Cerastoderma claucum</i>	1,08	5,56	17,82
<i>Gammarus salinus</i>	0,46	10,32	8,45
<i>Hydrobia ulvae</i>	0,51	1,04	7,06
Üldkatvus 80-95			
		Koosluste sarnasus: 78,13	
Liik	Biomass	Sarnasus/SD	Tähtsus %
<i>Mytilus trossulus</i>	2,38	7,63	44,73
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	1,22	6,59	23,50
<i>Cerastoderma claucum</i>	0,98	1,60	14,24
<i>Gammarus salinus</i>	0,57	9,45	10,82
Üldkatvus <20			
		Koosluste sarnasus: 75,18	
Liik	Biomass	Sarnasus/SD	Tähtsus %
<i>Mytilus trossulus</i>	1,32	9,13	43,00
<i>Cerastoderma claucum</i>	0,64	3,12	18,11
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	0,54	2,74	15,91
<i>Gammarus salinus</i>	0,35	3,81	10,07
<i>Hydrobia ulvae</i>	0,31	0,68	5,70



Joonis 16. Kasvkoha tingimuste ja domineerivate loomaliikide omavaheliste seoste kanooniline vastavusanalüüs (CCA). • - Proovipunkt, □ - Liik, • - Keskkonnaparameteer



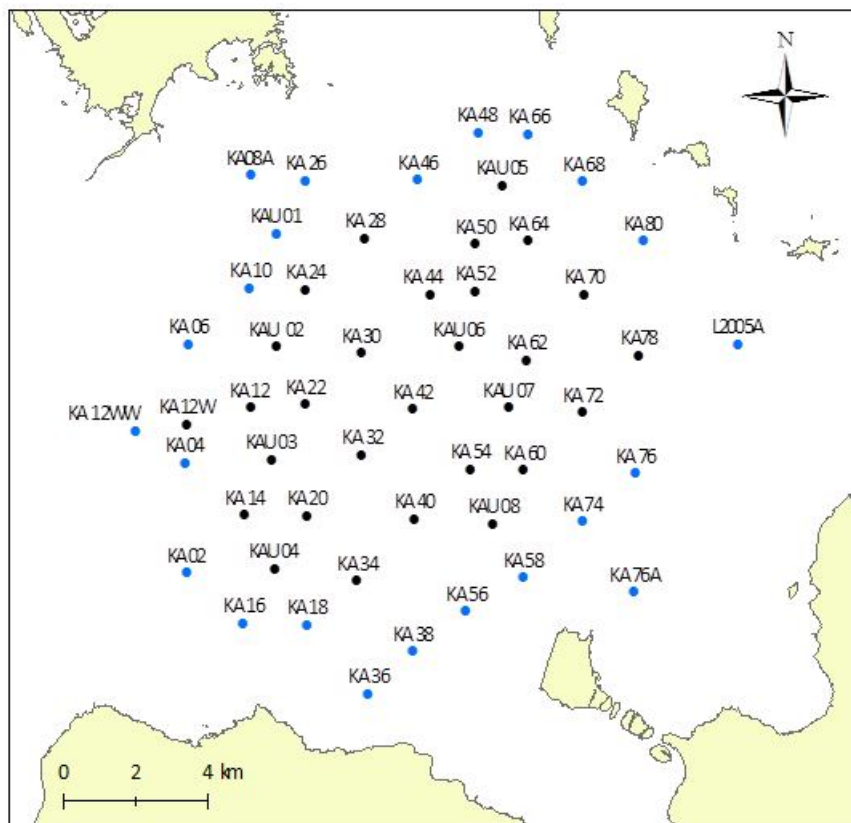
Joonis 17. Domineerivate loomaliikide biomass proovipunktides. **A** - *H. ulvae*, **B** - *G. salinus*, **C** - *M. trossulus*, **D** - *T. fluviatilis*

4.4 Sise- ja äärealad

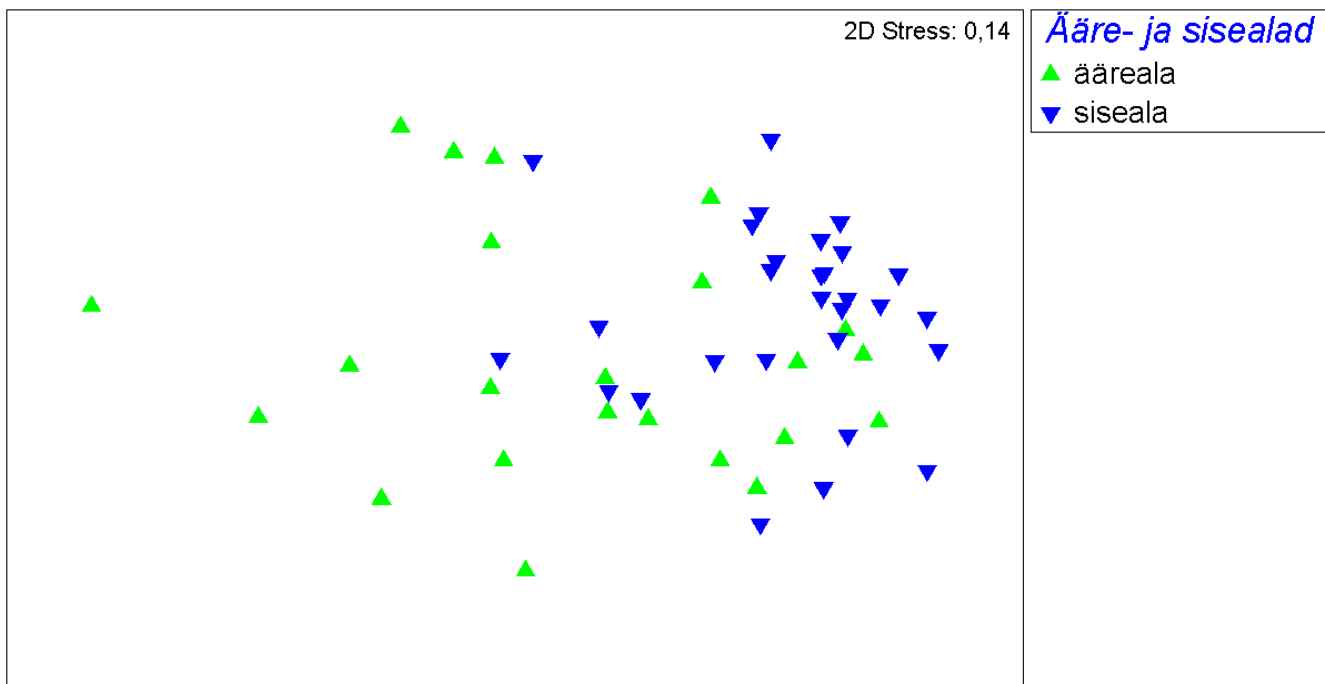
Sise- ja äärealade (joonis 18) võrdlusel moodustasid loomsed epibiondid selgelt eristuvad grupid (joonis 19). Taimsete epibiontide puhul nii selget grupeerumist ei toimunud (joonis 20).

Loomakooslused erinevatel aladel erinesid üksteisest oluliselt (ANOSIM, $p=0,001$). Taimekoosluste puhul polnud erinevus statistiliselt oluline (ANOSIM, $p>0,05$).

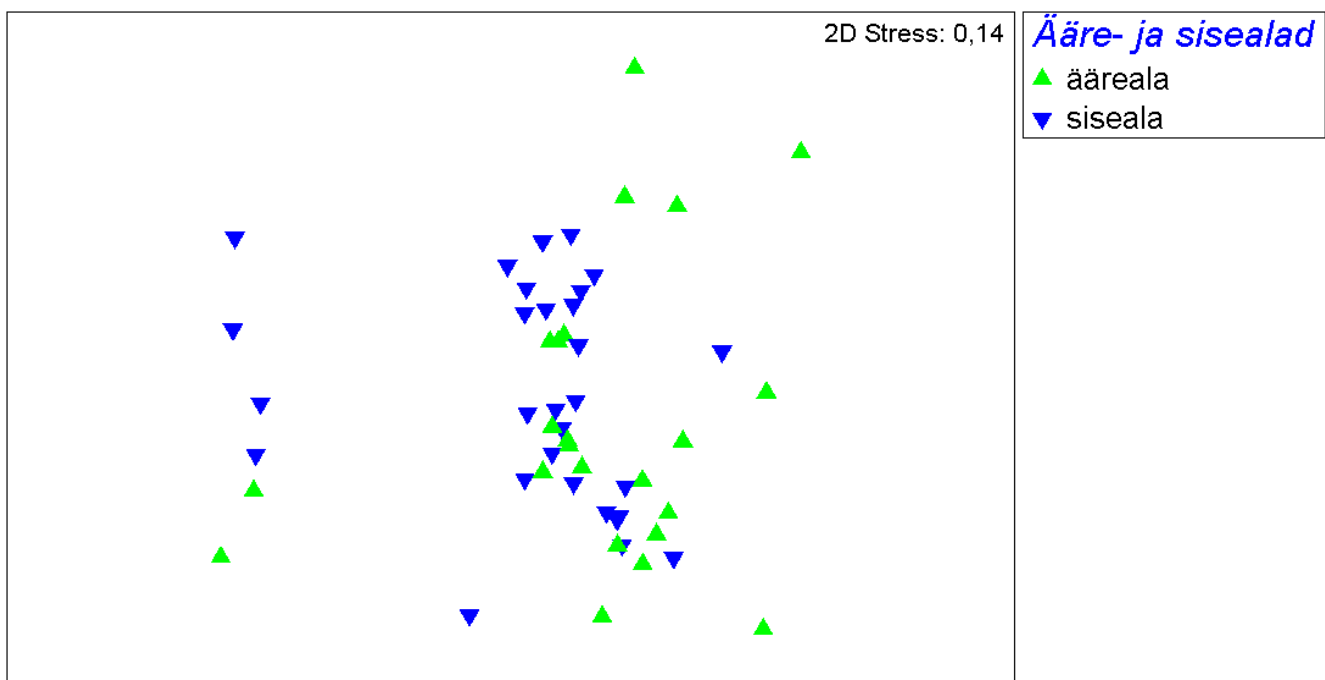
Domineerivad ja koosluste ruumilist varieeruvust põhjustavad loomaliigid on *M. trossulus*, *Cerastoderma claucum*, *T. fluviatilis* ja *Gammarus salinus* (SIMPER, tabel 6). Taimeliigid, aga *Polysiphonia fucoides*, *Sphacelaria arctica* ning *Chaetomorfa linum* (SIMPER).



Joonis 18. Proovivõtupunktid jaotatuna sise- (•) ja äärealadeks (•)



Joonis 19. Loomsete epifüüdikoosluste mitmemõõtmeline ordineerimine ääre- ja sisealadel (MDS).



Joonis 20. Taimsete epifüüdikoosluste mitmemõõtmeline ordineerimine ääre- ja sisealadel (MDS).

Tabel 6. Loomakoosluste varieeruvus sise- ja äärealadel ja vaadeldud aladele kõige isloomulikumat loomaliigid SIMPER analüüsi põhjal. Koosluste sarnasus - vaadeldava ala taimekoosluse sarnasus. Biomass - liigi keskmine biomass g/m². Sarnasus/SD liigi leviku ühtlus vaadeldava ala koosluses. Tähtsus - liigi osakaal vaadeldava ala koosluste sarnasuse põhjustajana.

Äärealad	Koosluse sarnasus: 71,91		
Liik	Biomass	Sarnasus/SD	Tähtsus%
<i>Mytilus trossulus</i>	1,80	5,66	41,26
<i>Theodoxus luviatilis</i>	0,90	2,82	19,13
<i>Cerastoderma claucum</i>	0,88	2,23	17,65
<i>Gammarus salinus</i>	0,46	3,96	10,51
<i>Hydrobia ulvae</i>	0,42	0,73	5,84
Sisealad	Koosluse sarnasus: 80,73		
Liik	Biomass	Sarnasus/SD	Tähtsus%
<i>Mytilus trossulus</i>	2,39	8,59	43,48
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	1,17	6,23	20,75
<i>Cerastoderma claucum</i>	0,95	2,86	15,29
<i>Gammarus salinus</i>	0,50	2,33	8,30
<i>Asellus aquaticus</i>	0,41	1,38	5,47

5. ARUTELU

Kassari lahe lahtise punavetikakooluse põhiliigid *F. lumbricalis* ja *C. truncatus* moodustasid koosluse biomassist keskmiselt 69 % (*F. lumbricalis* 55 % ja *C. truncatus* 14 %) (joonis 8). Teiste makrovetika- ja makrozoobentose liikide osakaal koosluses oli keskmiselt vastavalt 7 % ning 24 %. Ka Kassari lahe tööndusliku punavetikavaru uuringute viimaste aastate tulemuste põhjal moodustavad põhiliikidega kaasnevad makrovetikad ja selgrootud ligikaudu kuni 30 % kogu koosluse biomassist (Paalme 2009, 2011). Kahjuks ei leidu nendes uuringutes aga andmeid punavetikakoosluse epifüütide ja assotsieerunud selgrootute loomade liigilise koosseisu kohta.

Käesolevas töös määrati uurimisalal 32 taksonit, neist 21 looma- ja 11 taimeliiki (tabel 1). Taimeliigid, mille sagedus proovides olid kõige suuremad (sagedus üle 90 %) olid *F. lumbricalis*, *S. arctica*, *C. truncatus*, *C. linum* ning selgrootutest olid sagedamini esindatud *M. trossulus*, *T. fluviatilis*, *E. crustulenta*, *G. salinus*, *C. glaucum* ning *M. balthica*. 1970ndatel aastatel T. Trei poolt läbiviidud uuringus, mille eesmärk oli kirjeldada Kassari lahe vetikakoosluse struktuuri ja liigilist koosseisu, leiti 608-st proovist 14 eri liiki vetikaid: *C. tenuicorne*, *C. linum*, *C. truncatus*, *F. lumbricalis*, *P. littoralis*, *P. fucoides*, *S. arctica*, *S. tortilis*, *P. atro-rubescens*, *C. filum*, *C. roseum*, *R. riparium*, *P. radicans*, *R. confervoides* (Trei 1978). Uuringus keskenduti vetikate liigilisele koosseisule ning seetõttu ei määratud seal nende biomasse. Mõned erinevused vetikate liigilises koosseisus võivad kahe uuringu puhul olla põhjustatud uurimispiirkondade mittekattumisest või koosluse muutumisest ajas.

Analüüsides selgus, et Kassari lahe punavetikakooslusega assotsieerunud selgrootute liigid on koosluse (uurimisala) ulatuses reeglina ühtlaselt jaotunud. Erandiks oli herbivoor *H. ulvae*, mis esines koosluse äärealadel ning suuremad biomassi väärtused olid koosluse lääne- ja kaguosas.

Peremeestaimede koloniseerimist epifüütide poolt ei saa reeglina selgitada ainult ühe kindla keskkonnateguriga, pigem sõltub see erinevate tegurite (valgus, temperatuur, vee liikumine, herbivooria, konkurents erinevate sessiilsete organismide vahel) koosmõjust erinevates aja- ja ruumiskaalades (Pavia *et al.* 1999; Trautman & Borowitzka 1999; Vanderklift & Lavery 2000; Schanz *et al.* 2002), kusjuures paljud eelpool nimetatud tegurites on otseselt või kaudselt seotud sügavusega (Levin & Mathieson 1991; Rindi & Guiry 2004; Bäck & Likolammi 2004; Nesti *et al.* 2009). Selgroogsete biomassi

varieerumisele Kassari lahe punavetikakoosluses avaldasid mõju kõik analüüsides kasutatud keskkonnategurid (sügavus, üldkatvus, vetikakihi paksus, valguse hajuvuskoeffitsient vees ning basibiontide biomass). Erinevate keskkonnaparameetrite mõju ulatus ja suund sõltub liigist ning toitumistüübist. Näiteks herbivoor *T. fluviatilis* biomass, kes toitub makrovetikate pinnal kasvavatest mikrovetikatest (Wikström & Kautsky 2006) võib olla sellest tulenevalt positiivselt seotud vetikakihi paksusega, kuna suuremal pinnal kasvab rohkem toiduks kasutatavaid mikrovetikaid. Sama tendentsi näitab ka mobiilsem *G. salinus* - ilmselt pakub paksem vetikakiht paremat kaitset ja varjumisvõimalusi (Norkko *et al.* 2000; Lauringson & Kotta 2006). Domineerivad taimsed epifüüdid olid uurimisel jaotunud ebaühtlasemalt. Nii *S. arctica*, *P. fucoides* kui ka *C. linum* suuremad biomassid esinevad vetikakoosluse idapoolses osas, kus sügavused on madalamad ja valgustingimused seetõttu paremad. Sügavust peetakse üheks taimekoosluste struktuuri enim mõjutavaks teguriks (Kautsky 1993; Eriksson & Bergström 2004). Lisaks sügavusele avaldas taimsete epifüütide biomassile mõju vetikakihi üldkatvuse ning basibiontide biomassi varieerumine punavetikakoosluse erinevates punktides. Käesoleva töö alguses püstitatud hüpotees, et lahtises punavetikakoosluses domineerivate epifüütide ja assotsieerunud liikide biomass ei ole jaotunud koosluse ulatuses ühtlaselt leidis kinnitust nii vetikate kui ka selgrootute puhul.

Teinegi hüpotees, et äärealad erinevad koosluse struktuuri poolest sisealadest sai osaliselt kinnitust, kuna sise- ja äärealade võrdluses selgus, et eelkõige erinevad nad omavahel kooslusega assotseerunud selgrootute koosluste struktuuri poolest. Kõige paremini iseloomustab seda erinevust *H. ulvae* biomassi paiknemine uurimisel - liiki ei leitud punavetikakoosluse siseosast kogutud proovidest. Selle erinevuse põhjustajaks võib olla Kassari lahe sise- ja äärealade erinev hüdrodünaamiline aktiivus (Suursaar *et al.* 2001), mis omakorda mõjutab kasvukoha parameetreid ja selle kaudu liigilist koosseisu (Sánchez-Moyano *et al.* 2000).

Valgustingimusi koosluse kasvukohas hinnati kaudselt sügavuse, valguse hajuvuskoeffitsendi vees ning vetikakihi paksuse järgi, ning taimsete epifüütide biomass ja liigiline koosseis oli neist kolmest näitajast seotud ainult sügavusega. Käesolevas töös selgus, et madalamaid sügavusi eelistasid *S. arctica* ja *P. fucoides*.

Antud töös sai kinnitust ka neljas hüpotees, et kooslusega assotseerunud selgrootute liigiline koosseis ning biomass on seotud basibiontide biomassiga. Mida suurem on

basibiontide biomass, seda suurem on pind, kuhu sessiilsed selgrootud saavad kinnituda. Biomassi suurenedes paranevad ka varjumisvõimaluste ja toidu olemasolu, millega selgrootute levik on tugevalt seotud (Kotta & Orav 2001). Vetikakooslused on palju mitmekülgsema makrofaunaga kooslusega, kui seda on vähesema vegetatsiooniga rannikualad ning on seetõttu sobivaks elupaigaks paljudele selgrootute liikidele (Lauringson & Kotta 2006).

Käesolevas töös pöörati eraldi tähelepanu kiiresti kasvavatele niitjatele vetikatele, kuna Kassari lahele sarnane punavetikakooslus, mis asus Poola rannikuvetes, kadus sealt 1980ndatel just *P. littoralis* massilise vohamise tõttu (Kruk-Dowgiało 1991; Kruk-Dowgiało & Szaniawska 2008). Ka Kassari lahes täheldati 1990ndatel *P. littoralis* massilist esinemist ja sellega kaasnevat punavetikakoosluse kogubiomassi vähenemist uurimisalal (Martin *et al.* 1996). Rohevetikaid *C. glomerata* ja *C. linum* on samuti peetud ohuks (konkurents fotosünteesi limiteerivate tegurite, esmajoones valguse pärast) lahtistele punavetikakooslustele (Nabivallo *et al.* 2005). Antud töös leiti, et kuigi vetikad *P. littoralis*, *C. glomerata* ning *C. linum* on küll Kassari lahe punavetikakoosluses esindatud, ei ole neil otsest mõju koosluse struktuurile ega seisundile - nende väga väikese osakaalu tõttu punavetikakoosluses.

Kassari lahes lahtise punavetikakoosluse puhul on peaaegu kõik uuringud keskendunud ainult agarikule, või siis kahele põhiliigile - *F. lumbricalis* ja *C. truncatus*. Antud kooslusega assotsieerunud taimede ja selgrootute liigilisest koosseisust, ruumilisest levikust ning mõjust kooslusele pole palju teada ning kuna käesolev töö on põhimõtteliselt antud vallas pilootprojekt, siis oleks vaja sarnast uuringut kindlasti veel edasi arendada ja jätkata. Kuna epifüüdid reageerivad erinevatele - nii looduslike kui inimtegevusest põhjustatud keskkonnategurite muutustele reeglina peremeestaimedest kiiremini, siis on nii epifüütide biomassi kui ka liigilise koosseisu muutuseid kasutatud põhjakoosluste ökoloogilise seisundi hindamisel (Rönnberg *et al.* 1992; Russell *et al.* 2005; Korpinen *et al.* 2007; Rönnbäck *et al.* 2007). Kassari lahe lahtise punavetikakoosluse näol on tegemist väga haruldase ning ainulaadse vetikakooslusega ja seetõttu tuleks ka edaspidi uurida lahtises agarikukoosluses esinevaid epifüüteid makrovetikaid ja kooslusega assotsieerunud selgrootuid loomi ning nende võimalikku mõju koosluse struktuurile ning seisundile muutuvates keskkonnatingimustes (eutrofeerumine, kliimamuutused).

KOKKUVÕTE

Kassari lahes asub Euroopa meredes unikaalne ning omapärane makrovetikakooslus, mis moodustub peamiselt kahe punavetikaliigi – *Furcellaria lumbricalis* ja *Coccotylus truncatus* kinnitumata vormidest. Tegemist on üsna unikaalse ja väheuuritud kooslusega. Eelnevad uuringud on keskendunud peamiselt koosluse põhiliikidele.

Antud töö eesmärgiks oli kirjeldada Kassari lahe punavetikakoosluses domineerivate liikide, *F. lumbricalis* ja *C. truncatus* epifüütide ja kooslusega assotsieerunud selgrootute liigilist koosseisu, analüüsida nende ruumilist levikut ning koosluse struktuuri mõjutavaid keskkonnategureid ning hinnata kiiresti kasvavate niitjate vetikate osakaalu punavetikakoosluses ja nende potentsiaalset mõju koosluse seisundile. Töös kasutatud materjal koguti 2011. a. juulis TÜ Eesti Mereinstituudi poolt läbiviidud regulaarse punavetikavarude seire käigus Saare- ja Hiiumaa vahel asuvast Kassari lahest (54-st seirejaamast). Laboris määrati proovides esinevad taksonid ning nende biomassid.

Viidi läbi andmeanalüüs, milles kasutati mitmeid erinevaid meetodeid (ANOSIM, SIMPER, MDS, CCA). Kasvukohta iseloomustavateks parameetriteks olid: sügavus, üldkatvus, vetikakihi paksus, valguse hajuvuskoefitsient vees ja peremeestaimede biomass.

Tulemusteks saadi, et lahtise agarikukooluse põhiliigid moodustasid koosluse biomassist keskmiselt 69 % ,ülejäänud vetikate osakaal oli 7 % ning loomad moodustasid koosluse biomassist 24%. Uurimisalal määrati 32 taksonit, neist 21 looma- ja 11 taimeliiki. Domineerivad epifüütsed vetikaliigid olid *Sphacelaria arctica*, *Polysiphonia fucoides* ning *Chaetomorfa linum* ning selgrootutest *Mytilus trossulus*, *Hydrobia ulvae*, *Theodoxus fluviatilis* ja *Gammarus salinus*.

Kooslusega assotsieerunud selgrootute liigiline koosseis ja biomass on seotud basibiontide biomassiga. Domineerivate liikide biomass ei olnud koosluse ulatuses jaotunud ühtlaselt ning sõltus omakorda basibiontide biomassist ja üldkatvusest. Taimsete epifüütide liigiline koosseis ja biomass sõltus sügavusest. Koosluses domineerivate liikide biomass on suurem uurimisala idapoolsemas osas. Sise- ja äärealad erinevad üksteisest eelkõige kooslusega assotsieerunud selgrootute struktuuri poolest. Kiiresti kasvavatel niitjatel vetikatel ei ole nende vähese osakaalu tõttu otsest mõju koosluse struktuurile ega seisundile.

SUMMARY

Spatial variability of the loose lying red algal community in the Kassari bay

Kassari bay hosts a macroalgal community, unique in European seas, dominated by the loose-lying forms of two red algae - *Furcellaria lumbricalis* ja *Coccotylus truncatus*. Previous studies have mainly focused on the dominant species – mainly on different abiotic and biotic environmental factors controlling their growth.

The aim of this paper is to describe the species composition of the algal epiphytes and the invertebrates associated with the two dominant species *F. lumbricalis* and *C. truncatus* - to analyze the spatial distribution and structure of the community and how it is affected by environmental factors and to assess the proportion of fast-growing filamentous algae in the red algal community and their potential impact on the community's condition.

The material used in the work was collected in July 2011, from 54 stations, during regular monitoring of the red algal stock in the Kassari bay (located between Saaremaa and Hiiumaa). Sampling was carried out by the Estonian Marine Institute, University of Tartu. The species composition and biomass of the samples were analysed in the laboratory. Statistical analysis of the data was conducted, using a variety of methods (ANOSIM, SIMPER, MDS, CCA). Environmental variables included in the analyses were depth, coverage, algal mat thickness, light attenuation coefficient in the water, and host plant biomass.

F. lumbricalis and *C. truncatus* accounted for an average of 69%, the remaining algae for 7% and the invertebrates for 24% of the community biomass. 32 taxa, including 21 animal and 11 plant species were found in study area. The dominant epiphytic algal species were *S. arctica*, *P. fucooides*, *C. linum* and dominant invertebrate species were *M. trossulus*, *H. ulvae*, *T. fluviatilis* ja *G. salinus*. The biomass and species composition of the invertebrates, associated with the community, were dependent on the biomass of the basibionts. The dominant species were not evenly distributed throughout the community and their abundance was dependent on the biomass of the host plants and coverage. Species composition and biomass of the algal epiphytes were dependent on the depth. The biomass of the dominant epiphytic species was higher in the eastern part of the study area. Inner and outer areas differ in associated invertebrate assemblages structure. Fast-growing filamentous algae do not have a direct impact on community structure and condition, due to their small proportion.

TÄNUAVALDUSED

Väga hea juhendamise ja motiveerimise eest tänan oma juhendajaid Tiina Paalmet ja Priit Kersenit. Suured tänud ka laborikaaslastele ning kõikidele teistele, kes antud töö valmimisel nõu ja jõuga abiks on olnud. Käesolevat tööd finantseeriti ETF grandiprojektist nr. 8775 (Looduslike ja antropogeensete tegurite mõju epibiontide kooslustele Läänemere fütobentilistel võtmeliikidel *Furcellaria lumbricalis* ja *Fucus vesiculosus*).

KASUTATUD KIRJANDUS

- Austin, A.P.**, 1960. Observations on *Furcellaria fastigiata* (L.) Lam. forma aegagropila Reinke in Danish waters together with a note on other unattached algal forms. *Hydrobiologia* 14, 255–277.
- Bird, C.J., Saunders, G.W., McLachlan, J.**, 1991. Biology of *Furcellaria lumbricalis* (Hudson) Lamouroux (*Rhodophyta: Gigartinales*), a commercial carrageenophyte. *Journal of Applied Phycology* 3, 61-82.
- Bray, J. B., Curtis J.T.**, 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27, 325-349.
- Bäck, S., Likolammi, M.**, 2004. Phenology of *Ceramium tenuicorne* in the SW Gulf of Finland, northern Baltic Sea. *Annales Botanici Fennici* 41, 95-101.
- Cecere, E., Petrocelli, A., Perrone, C.**, 2007. How the unattached form of *Acanthophora nayadiformis* (*Rhodophyta; Ceramiales*) produces storage and perennating organs. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 87, 389-392.
- Clarke, K.R.**, 1993. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18, 117-143
- Clarke K. R., Warwick, R. M.**, 2001. Change in Marine Communities: An Approach to statistical analysis and Interpretation. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth.
- Eriksson, B.K., Bergström, L.**, 2005. Local distribution patterns of macroalgae in relation to environmental variables in the northern Baltic Proper. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 62, 109-117.
- Gestoso, I., Olabarria, C., Troncoso, J.S.**, 2010. Variability of epifaunal assemblages associated with native and invasive macroalgae. *Marine and Freshwater Research* 61, 724-731.
- Kautsky, H.**, 1993. Quantitative distribution of sublittoral plant and animal communities along the Baltic Sea gradient. *Biology and Ecology of Shallow Coastal Waters*, 23-30.

- Kersen, P., Martin, G., 2007.** Annual biomass loss of the loose-lying red algal community via macroalgal beach casts in the Väinameri area, NE Baltic Sea. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences: Biology, Ecology* 56, 278-289.
- Kersen, P., Orav-Kotta, H., Kotta, J., Kukk, H., 2009.** Effect of abiotic environment on the distribution of attached and loose-lying red alga *Furcellaria lumbricalis* in the Estonian coastal sea. *Estonian Journal of Ecology* 58, 245-258.
- Korpinen, S., Honkanen, T., Vesakoski, O., Hemmi, A., Koivikko, R., Lopenen, J., Jormalainen, V., 2007.** Macroalgal communities face the challenge of changing biotic interactions: review with focus on the Baltic Sea. *Ambio* 36, 203-211.
- Kotta, J., Orav, H., 2001.** Role of benthic macroalgae in regulating macrozoobenthic assemblages in the Väinameri (north-eastern Baltic Sea). *Annales Zoologici Fennici* 38, 163-171.
- Kotta J., Paalme T., Kersen P., Martin G., Herkül K., Möller, T., 2008** Density dependent growth of the red algae *Furcellaria lumbricalis* and *Coccotylus truncatus* in the West Estonian Archipelago Sea, northern Baltic Sea. *Oceanologia* 50, 577-585.
- Kruk-Dowgiallo, L., 1991.** Long-term changes in the structure of underwater meadows of the Puck lagoon. *Acta ichthyologica et piscatoria* 21, 77-84
- Kruk-Dowgiallo, L., Szaniawska, A., 2008.** Gulf of Gdańsk and Buck Bay. *Ecology of Baltic Coastal Waters, Ecological studies* 197, 139-165.
- Lauringson, V., Kotta, J., 2006.** Influence of the thin drift algal mats on the distribution of macrozoobenthos in Kõiguste Bay, NE Baltic Sea. *Hydrobiologia* 554, 97-105.
- Levin, P.S., Mathieson, A.C., 1991.** Variation in a host-epiphyte relationship along a wave exposure gradient. *Marine Ecology Progress Series* 77, 271-278.
- Lobban, C.S., Harris, P.J., 1997.** Seaweed ecology and physiology. Cambridge University Press, Cambridge-New York.

- Martin, G., Paalme T., Kukk, H.**, 1996. Long-term dynamics of the commercial useable *Furcellaria lumbricalis*-*Phyllophora truncata* community in Kassari Bay, West Estonian Archipelago, the Baltic Sea. Proceedings of Polish-Swedish Symposium on Balticcoastal fisheries Resources and Management, 121-129.
- Martin, G.**, 2000. Phytobenthic communities of the Gulf of Riga and the inner sea of the West-Estonian Archipelago. Dissertation. University of Tartu, Tartu.
- Martin, G., Paalme, T., Torn, K.**, 2006a. Growth and production rates of the loose-lying and attached forms of the red algae *Furcellaria lumbricalis* and *Coccotylus truncatus* in Kassari Bay, the West Estonian Archipelago Sea. *Hydrobiologia* 554, 107-115.
- Martin, G., Paalme, T., Torn, K.**, 2006b. Seasonality pattern of biomass accumulation in drifting *Furcellaria lumbricalis* community in waters of the West Estonian Archipelago, Baltic Sea. *Journal of Applied Phycology* 18, 557-563.
- Masing, V.**, 1992. Ökoloogialeksikon. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn.
- Nabivailo, Y.V., Skriptsova, A.V., Titlyanov, E. A.**, 2005. Interactions of Algae within the Community of *Gracilaria gracilis* (Rhodophyta). *Russian Journal of Marine Biology* 31, 288-293.
- Nesti, U., Piazzii, L., ja Balata, D.**, 2009. Variability in the structure of epiphytic assemblages of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* in relation to depth. *Marine Ecology* 30, 276-287.
- Norkko, J., Bonsdorff, E., Norkko, A.**, 2000. Drifting algal mats as an alternative habitat for benthic invertebrates: Species specific responses to a transient resource. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 248, 79-104.
- Norton, T.A., Mathieson, A.C.**, 1983. The biology of unattached seaweeds. *Progress in Phycological Research* 2, 333-386.
- Orav-Kotta, H., Kotta, J.**, 2004. Food and habitat choice of the isopod *Idotea baltica* in the northeastern Baltic Sea. *Hydrobiologia* 514, 79–85.
- Paalme, T.**, 2009. Kassari lahe tööndusliku punavetikavaru uuringud. Aruanne. TÜ Eesti Mereinstituut, Tallinn.

- Paalme, T.** 2011. Kassari lahe töendusliku punavetikavaru uuringud. Aruanne. TÜ Eesti Mereinstituut, Tallinn.
- Paalme, T., Kotta, J., Kersen, P., Martin, G., Kuk, H., Torn, K.,** 2011. Inter-annual variations in biomass of loose lying algae *Furcellaria-Coccotylus* community: the relative importance of local versus regional environmental factors in the West Estonian Archipelago. *Aquatic Botany* 95, 146-152.
- Paalme, T., Kotta, J., Kersen, P.,** 2013. Does the growth rate of drifting *Furcellaria lumbricalis* and *Coccotylus truncatus* depend on algal density and shares? *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences* 62, 141-147.
- Pavia, H., Carr, H., Åberg H.C.,** 1999. Habitat and feeding preferences of crustacean mesoherbivores inhabiting the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. and its epiphytic macroalgae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 236, 15-32.
- Pedersen, M., Snoeijs, P.,** 2001. Patterns of macroalgal diversity, community composition and long-term changes along the Swedish west coast. *Hydrobiologia* 459, 83-102.
- Rindi, F., Guiry M.D.,** 2004. Composition and spatio temporal variability of the epiphytic macroalgal assemblage of *Fucus vesiculosus* Linnaeus at Clare Island, Mayo, western Ireland. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 311, 233-252.
- Russell, B.D., Elsdon, T.S., Gillanders, B.M., Connell, S.D.,** 2005. Nutrients increase epiphyte loads: broad-scale observations and an experimental assessment. *Marine Biology* 147, 551-558.
- Rönnerberg, O., Andjers, K., Ruokalahti, C., Bondestam, M.,** 1992. Effects of fish farming on growth, epiphytes and nutrient content of *Fucus vesiculosus* L. in the Åland archipelago, northern Baltic Sea. *Aquatic Botany* 42, 109-120.
- Rönnbäck, P., Kautsky, N., Pihl, L., Troell, M., Söderqvist, T., Wennhage, H.,** 2007. Ecosystem Goods and Services from Swedish Coastal Habitats: Identification, Valuation, and Implications of Ecosystem Shifts. *AMBIO - A Journal of the Human Environment* 36, 534-544.

- Sánchez-Moyano, J.E., García-Adiego, E.M., Estacio F.J., García-Gómez, J.C., 2000.** Effect of environmental factors on the spatial distribution of the epifauna of the alga *Halopteris scoparia* in Algeciras Bay, Southern Spain. *Aquatic Ecology* 34, 355-367.
- Schanz, A., Polte, P., Asmus, H., 2002.** Cascading effects of hydrodynamics on an epiphyte-grazer system in intertidal seagrass beds of the Wadden Sea. *Marine Biology* 141, 287-297.
- Steel, J. B., Wilson, J.B., 2003.** Which is the phyte in epiphyte? *Folia Geobotanica* 38, 97-99.
- Suursaar, Ü., Kullas, T., Otsmann, M., 2001.** The influence of current and waves on ecological conditions of the Väinameri. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences: Biology, Ecology* 50, 231-247.
- Trautman, D.A., Borowitzka, M.A., 1999.** Distribution of the epiphytic organisms on *Posidonia australis* and *P. sinuosa*, two seagrasses with differing leaf morphology. *Marine Ecology Progress Series* 179, 215-229.
- Trei, T., 1965.** Materjale Väinamere põhjataimestiku ja töönduslike punavetikate kasutamise võimaluste kohta. *Eesti NSV teaduste akadeemia toimetised* 14, 180-196.
- Trei, T., 1973.** Lääne-Eesti rannikuvete fütobentos. Dissertatsioon. Eesti Mereihitüoloogia Laboratoorium, Tallinn.
- Trei, T., 1975.** Flora and vegetation in the costal waters of Western Estonia. *Merentutkimuslait* 239, 348-351.
- Trei, T., 1978.** The physiognomy and structure of the sublittoral macrophyte communities in Kassary Bay (an area between the Isles of Hiiumaaa and Saaremaa). *Kiel Meeresforschungsinstitut* 4, 117-121.
- Vanderklift, M.A., Lavery, P.S., 2000.** Patchiness in assemblages of epiphytic macroalgae on *Posidonia coriacea* at a hierarchy of spatial scales. *Marine Ecology Progress Series* 192, 127-135.

- Wahl, M.**, 2008. Ecological lever and interface ecology: epibiosis modulates the interactions between host and environment. *Biofouling* 24, 427-438.
- Wikström, S.A., Kautsky, L.**, 2007 Structure and diversity of invertebrate communities in the presence and absence of canopy-forming *Fucus vesiculosus* in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 72, 168-176.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina Siim Pärt

(sünnikuupäev: 21.12.1986)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Kassari lahe lahtise punavetikakoosluse ruumiline muutlikkus“

mille juhendaja on Tiina Paalme, Priit Kersen

- 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 27. 05. 2013